Lipliawsky und Lungwitz

Die Radioelemente in der Heilkunde

Ein Handbuch für
Ärzte und Studierende

22102157189

DIE RADIOELEMENTE
IN DER HEILKUNDE

Die Radioelemente in der Heilkunde

HANDBUCH

der

Biologie, Pharmakologie und Klinik

des

Radiums, Mesothoriums, Thorium X,
Aktiniums und der Emanationen

Für Aerzte und Studierende

Von

Hofrat
Prof. Dr. med. Lipliawsky,
Berlin

und

Dr. med. et phil.
Hans Lungwitz, Berlin
Spezialarzt für
Nerven- und Stoffwechselkrankheiten

Zweite Auflage

ZAHNARZT M. LEV
BERLIN W. 62
KURFÜRSTENSTR. 106
SPR. 9—6; TEL. CH. 250.

Berlin 1914
ADLER-VERLAG G. M. B. H.

319753.

WELLCOME LIBRARY INSTITUTE

STORE / 30549

WELLCOME INSTITUTE LIBRARY

Coll.	welMOmec
Call No.	WN
	K34645

Dem Andenken

an unsern

unvergeßlichen Lehrer und väterlichen Freund,
den Altmeister der internen Medizin

weil. Seine Exzellenz
Wirklichen Geh. Rat
Herrn Prof. Dr. Ernst von Leyden

in Pietät und Dankbarkeit gewidmet

von

den Verfassern.

Alle Rechte
einschliesslich das der Uebersetzung
vorbehalten.

Vorwort.

Die Erforschung der physikalischen Eigenschaften der Radioelemente hat naturgemäß die Aufmerksamkeit der Aerztewelt schon frühzeitig erregt und den Gedanken an eine therapeutische Verwertung der Forschungsresultate erweckt. Unermüdlich haben sich Biologen und Physiologen damit beschäftigt, die Wirkung des Radiums und der anderen Radioelemente auf das gesunde und kranke tierische Gewebe zu studieren und damit die unentbehrlichen Grundlagen für die therapeutische Anwendung zu schaffen; Schritt für Schritt ist man mittels zahlreicher mühevoller Experimente, durch Irrungen und Wirrungen zu dem heutigen Stande der wissenschaftlichen Erkenntnis von der heilkräftigen Wirkung dieser interessanten und merkwürdigen Elemente hindurchgedrungen. Die wissenschaftliche und praktisch-kasuistische Literatur über dieses Gebiet ist in den letzten Jahren derart angewachsen, daß es große Mühe macht, die in den zahlreichen Zeitschriften und Monographien zerstreuten Mitteilungen herauszufinden und gewissermaßen als Bausteine für das stolze Gebäude dieser noch jugendlichen Wissenschaft zusammenzutragen und zu einem systematischen Lehrbuch zu vereinigen.

Andererseits tritt heutzutage an jeden praktischen Arzt die Notwendigkeit heran, über die grundlegenden wissenschaftlichen Tatsachen der Radiumtherapie genau orientiert zu sein, um im gegebenen Falle dem Kranken rechtzeitig die Behandlung mit Radium, Emanation, Thorium X usw. zu verordnen. Der Studierende sowohl wie der Arzt bedarf deshalb zum mindesten

einer Uebersicht über die bisher erzielten Forschungsergebnisse, um jedenfalls die Indikation stellen zu können, auch wenn er die eigentliche Radiumbehandlung denjenigen Kollegen überlassen muß, die die kostbaren Substanzen besitzen oder wenigstens zur Verfügung haben.

Es sind auch in der letzteren Zeit größere wissenschaftliche Abhandlungen, Monographien und Sammelwerke von Monographien erschienen, die aber u. E. für die Zwecke des Studiums dem Praktiker oder Nicht-Spezialisten große Schwierigkeiten bereiten, schon deshalb, weil wohl das angehäufte Forschungsmaterial sorgfältig zusammengetragen ist, dagegen die tatsächlichen und hypothetischen Ergebnisse nicht genügend von einander gesondert sind.

Die Verfasser haben sich deshalb die Aufgabe gestellt, ein für Lehrzwecke bestimmtes Handbuch erscheinen zu lassen, in dem den Studierenden und den Aerzten das Wissenswerte über die Radioelemente und ihre Bedeutung für die Heilkunde in leichtverständlicher Darstellung mitgeteilt werden soll. Bei der Bearbeitung dieses Handbuches waren wir bemüht, das schwierige und neue Gebiet für die Lehrzwecke zu systematisieren, indem wir weniger auf die literarische Vollständigkeit Wert legten, als darauf, den Leser in die Zusammenhänge des überaus umfangreichen und wertvollen wissenschaftlichen und klinischen Materials einzuführen. Uebrigens kommt es ja auch für den Studierenden wie für den praktischen Arzt nur auf diejenigen wissenschaftlichen Daten an, die aus dem Stadium der Versuche bereits ausgeschieden sind und in das Bereich der relativ feststehenden wissenschaftlichen Tatsachen hineingehören; freilich konnten in dieser Hinsicht einige bedeutungsvolle wissenschaftliche Kontroversen nicht völlig unberücksichtigt bleiben. Im Ganzen haben wir uns bemüht, das Werk nicht zu umfangreich werden zu lassen und ihm den Charakter eines kurzgefaßten Lehrbuches zu geben.

Im übrigen sei auch an dieser Stelle besonders darauf hingewiesen, daß es, wie Krönig sagt, noch nicht genügt, Radium oder Mesothorium zu besitzen, um wirkliche Heilerfolge zu erzielen, sondern es gehören zur Beherrschung dieser wissenschaftlichen Disziplin und therapeutischen Methode eingehende theoretische Kenntnisse und praktische Erfahrungen. Möge das vorliegende Werk den Studierenden und den Aerzten das Eindringen in die schwierige Materie der therapeutischen Bedeutung der Radioelemente erleichtern.

BERLIN, im Oktober 1913.

Die Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Widmung V
Vorwort VII

I. Teil.

Chemie, Physik und Biologie der Radioelemente.

Einleitung 17
Geschichtlicher Ueberblick — Indikationsgebiete: interne Medizin, Dermatologie, Chirurgie, Gynäkologie, Ophthalmologie, Zahnheilkunde

1. Kapitel. **Verbreitung und Gewinnung radioaktiver Substanzen** 27—40
Ubiquität der Radioaktivität — Gehalt der Luft und der Erdoberfläche — radioaktive Mineralien — Pechblende — Gewinnungsverfahren des Radiums aus derselben — Geologie von Joachimsthal, Brambach Kreuznach — Radiumgewinnung in Kreuznach — Einfluß des Radiums auf kosmische Verhältnisse — Verbreitung und Fundorte des Thoriums — Herstellung der medizinisch wichtigen Derivate desselben — Verbreitung und Gewinnung des Aktiniums.

II. Kapitel. **Chemie und Physik der radioaktiven Elemente** . 41—66
Schwierigkeit der Materie — gemeinsame chemisch-physikalische Grundgesetze.

Uran 43
Radiouran 45
Uran X 45
Jonium 46
Radium 46
Radiumemanation und ihre Zerfallsprodukte — induzierte Aktivität — Radium A, B, C, D, E_1, E_2, F (Polonium, Radiotellur) 50
Thorium 54
Mesothorium 55
Radiothorium 57
Thorium X 58
Thoriumemanation und ihre Zerfallsprodukte Thorium A, B, C, D 58
Aktinium 60

Seite

Radioaktinium 61
Aktinium X 61
Aktiniumemanation und ihre Zerfallsprodukte
Aktinium A, B_1, B_2, C 61

III. Kapitel. **Die Strahlungen** . . . . . 67—91
Allgemeine Eigenschaften 67
Die Alpha-Strahlen 70
Die Beta-Strahlen 79
Die Gamma-Strahlen 84
Medizinisch wichtige Unterschiede der Strahlengattungen 87
Thermoluminiscenz, Skotographie 90

IV. Kapitel. **Die Methodik der Messungen** . . . . . 92—112
A. Qualitative Untersuchung 92
B. Qualitative Methoden 93
Allgemeines 93
Quadrantelektrometer 95
Galvanometer 97
Elektrometer nach Th. Wulf 97
Elektroskop (Fontaktoskop) 98
Jonometer nach Greinacher 101
Gamma-Strahlen-Methode 103
Messung mittels der Wärmeentwicklung 105
Emanationsmessung 106
Bestimmung der Radioaktivität von Quellwasser, -gasen und -sedimenten 109

V. Kapitel. **Die biologischen Wirkungen der Radioaktivität** . 113—141
A. Einwirkung auf Fermente 114
B. Einwirkung auf Bakterien 118
C. Einwirkung auf die tierische Zelle 124

II. Teil.

Die therapeutische Anwendung der Radioelemente.

VI. Kapitel. **Rheumatische und gichtische Erkrankungen** . . 145—215
A. Dosierung und Applikation . . . . . 145—185
Meßsystem 145
Inhalation der Radiumemanation 149
Apparate — Absorption im Blute — Radium D — Ausscheidung.
Trinkmethode 159
Emanationsbäder 169
Radioaktiver Niederschlag 173
Jontophorese 175
Radioaktive Kompressen 175

Seite

Injektion von Radiumsalzen 176
Radiothorium und Thorium X 178
Aktinium X 184

B. Physiopathologische Wirkungen . . . . . 185—196
Kontroversen — Emanation und Harnsäure — Thorium X und Harnsäure — Emanation und Stoffwechsel — Emanation und Blutbild — Emanation und Gefäßsystem, Blutdruck usw. — Thorium X und Atmung, Herztätigkeit, Blutdruck usw. — Allgemeine physiologische Einwirkungen — Brunnenrausch — Reaktion.

C. Klinische Erfahrungen bei rheumatischen und gichtischen Erkrankungen . . . . . 197—215
Allgemeines.

1. Akuter Gelenkrheumatismus 199
2. Chronischer Gelenkrheumatismus und chronisch-rheumatische Prozesse des Muskel- und Nervensystems 199
3. Gicht 212

VII. Kapitel. **Verschiedene Indikationen** . . . . . 216—226
1. Harnsaure Diathese 216
2. Diabetes mellitus 216
3. Fettsucht 220
4. Arteriosklerose 220
5. Nepthritis 221
6. Obstipation 222
7. Katarrhe der Luftwege 222
8. Asthma bronchiale 223
9. Pneumonie 223
10. Lungentuberkulose 223
11. Impotenz 225

VIII. Kapitel. **Blutkrankheiten** . . . . . 227—235
Allgemeines 227
Leukämie 228
Perniziöse Anämie 231

IX. Kapitel. **Erkrankungen des Nervensystems** . . . . 236—240
Strahlenwirkung 236
Emanationswirkung 238

X. Kapitel. **Die Bedeutung der Radioaktivität in der Balnologie** 241—258
Historisches — Emanationsgehalt der Quellen — Emanationsgehalt und Heilwert der Quellen — Trinkkur — Emanationsgehalt der Quellgase — Inhalationskur — Emanatorien — Emanationshaltige Bäder — Radioaktivität der atmosphärischen Luft in Kurorten.

Seite

XI. Kapitel. **Die Radiumtherapie der chirurgischen Geschwülste** 259—290
A. Biologie der Strahlenwirkung 259
B. Methodik der Anwendung 264
1. Sensibilisierung und Immunisierung . . . 264
2. Schädigungen der bestrahlten Haut . . . 267
3. Applikationsmethoden 269
4. Histologische Veränderungen 270
C. Klinische Erfahrungen 274
bei Epithelwucherungen — Angiomen und Naevi — Keloiden mit Radium 274
Mesothorium — Thorium X 283
Aktinium 288

XII. Kapitel. **Radium und Mesothorium in der Gynäkologie** . 291—302
Apparate und Methodik — klinische Erfahrungen bei Karzinomen, Fibromen, Myomen, Blutungen, Metropathien, chronischen Urethritiden, Pruritus vulvae etc.

XIII. Kapitel. **Die Radiumtherapie in der Dermatologie** . . 303—309
Methodik — Indikationen

XIV. Kapitel. **Die Radiumtherapie in der Ophthalmologie** . 310—316
Geschichtliches — Erkrankungen der Haut (Epitheliome, Haemangiome etc.) — der Bindehaut (Trachom etc.) — der Hornhaut.

Namensverzeichnis XVII
Sachregister XXII

ERSTER TEIL

Chemie, Physik und Biologie der Radioelemente

Einleitung.

Seit Alters haben sich die Chemiker in besonderem Maße mit dem Problem beschäftigt, ob es möglich ist, eine Element in ein anderes überzuführen, und ob solche Transformationen in der Natur vorkommen. Zahlreiche Untersuchungen sind zur Lösung dieser Frage angestellt worden. Es sei nur erinnert an die Bemühungen der mittelalterlichen Alchymisten, aus Merkur und anderen chemischen Körpern Gold zu gewinnen, ja die Mystik, die mit jenem Experimentieren verbunden war, erzeugte in der dunkeln Epoche der Hexenverbrennungen unsichere Vorstellungen von dem Walten geheimnisvoller übernatürlicher Kräfte und teuflischer Künste bei der hypothetisch angenommenen Umwandlungsfähigkeit der Materie.

Die exakte Wissenschaft hat alsdann gezeigt, daß die Elemente in ihrem chemischen und physikalischen Verhalten offenbar eine Konstanz zeigen, die eine Transformation des einen Elementes in ein anderes — bis vor nicht ganz zwei Jahrzehnten — als unmöglich erscheinen ließ. Im Zeitalter der Atomistik, eingeleitet durch die Triaden Döbereiners im Jahre 1829, bildete sich im wesentlichen infolge der Arbeiten von Hinrichs (1826), Chancourtois (1826), Newlands (1864) und anderer Autoren die Ansicht heraus, daß die Eigenschaften der Elemente von ihrem Atomgewicht abhängig seien, und im Jahre 1869 wurde diese Anschauung fast gleichzeitig von zwei Forschern, Mendelejeff und Lothar Meyer, zur Aufstellung eines Systems benutzt, in welchem die Elemente auf Grund ihrer Eigenschaften, betrachtet als Funktionen der Atomgewichte, in einer bestimmten Reihenfolge und Abhängigkeit registriert wurden (Periodisches System der Elemente).

Ja Mendelejeff konnte es wagen, durch logische Konklusionen die Eigenschaften von Elementen zu bestimmen, die bis dahin noch gar nicht bekannt waren, und so mehrere Lücken in seinem periodischen System theoretisch auszufüllen. Wir stehen hier vor einem der schönsten Erfolge der exakt wissenschaftlichen Forschung. Die Eigenschaften des Scandiums, des Galliums und des Germaniums wurden von Mendelejeff auf Grund des periodischen Systems vorausgesagt, und die spätere Entdeckung dieser Elemente lieferte den unbestreitbaren Beweis, daß in dem periodischen System eine Möglichkeit gegeben war, von bekannten Größen mit Sicherheit auf das unbekannte X zu schließen.

Mehrere Lücken im System wurden durch die Entdeckung der sogenannten Edelgase Helium, Neon, Argon, Krypton und Xenon, zu denen sich neuerdings die Emanation gesellt, ausgefüllt, und weitere Ergänzungen lieferten die Entdeckungen der Neuzeit, insbesondere die der radioaktiven Elemente, der höchstatomigen, die uns bekannt sind und die aller Wahrscheinlichkeit nach einen Abschluß des periodischen Systems bilden.

Das höchstatomige Element, das Uran, benannt nach dem Planeten Uranus, mit dem Atomgewicht von 238,5, hat schon frühzeitig die besondere Aufmerksamkeit der Chemiker erweckt, weil es in seiner Valenz wie in seinen übrigen Eigenschaften eine merkwürdige Veränderlichkeit zeigt und gewisse Eigenschaften einer ganzen Anzahl von Elementen sozusagen in sich vereinigt. Historisch interessant ist, daß Uranverbindungen bereits im Jahre 1789 aus Pecherz und Uranglimmer von Klaproth dargestellt wurden, während das metallische Uran von Péligot 1841 als grauschwarzes Pulver, 1856 als wohlcharakterisiertes Metall gewonnen wurde.

Das nächstfolgende Element im periodischen System ist das Thorium mit dem Atomgewicht von 232,5, aus dem das Mesothorium und das Radiothorium mit dem Atomgewicht 228,5 hervorgeht. Das Ionium hat ein Atomgewicht von 230,5, das Thorium X 224,5, das Radium 226,5. Es folgt weiterhin die Radiumemanation mit dem Atomgewicht 222,5, die Thoriumemanation mit dem Atomgewicht 220,5, das Polonium, identisch mit Emanium, mit dem Atomgewicht 210,5 und das inaktive Blei

mit einem Atomgewicht 206,5, dasjenige Element, das anscheinend die Reihe der Radioelemente abschließt. Die Atomgewichte des Aktiniums und seiner Zerfallsprodukte sind mit genügender Sicherheit noch nicht ermittelt.

Obwohl das periodische System der Elemente auf dem Boden der Atomlehre entstanden ist, die eine Unveränderlichkeit der Atome hinsichtlich des chemischen und physikalischen Verhaltens, insbesondere die Unteilbarkeit als fundamentalen Lehrsatz annahm, hat gerade dieses System wesentlich mit dazu beigetragen, daß der angeführte atomistische Grundsatz ins Wanken geraten ist und seine Bedeutung als Naturgesetz bis auf weiteres verloren hat. Die Entdeckung und Erforschung der Radioelemente zeigte nämlich, daß sowohl Radium wie Thorium und Aktinium, also Elemente, deren atomistische Eigenschaften ermittelt sind, sich nach bestimmten Gesetzen und in bestimmtem Umfange (Zerfallskonstante, Zerfallsperiode, mittlere Lebensdauer usw.) unabhängig in andere Elemente transformieren, die ebenfalls wohlcharakterisierte elementare Eigenschaften, z. B. ein eigenes Spektrum, ein spezifisches Atomgewicht usw. haben und ihrerseits wiederum in kleinere Atome zerfallen. Somit ist das Uranatom nicht ein Atom im Sinne der Unteilbarkeit, nicht eine letzte Größe im Sinne der Atomlehre, und ebensowenig das Radiouranium, das Uran X, das Ionium, Thorium usw., sondern man muß vielmehr den Atomen dieser Elemente, obwohl sie kleinste Teilchen eines elementaren Grundstoffes sind, dennoch Eigenschaften sozusagen molekularer Art zusprechen, vornehmlich die Fähigkeit, in Bestandteile zu zerfallen, die jeder für sich in chemischer wie in physikalischer Hinsicht durchaus differenziert und immer an Atomgewicht kleiner sind als die Muttersubstanz.

Die Entdeckung der Radioelemente hat also umwälzend auch auf dem Gebiete der Theorie der Chemie gewirkt und Fundamente geschaffen, auf denen sich neue und aussichtsreiche Hypothesen und moderne Lehrgebäude aufrichten können und müssen, Fundamente, die auch wesentliche Stützen für die Ionentheorie, wie für die Energiegesetze Robert Mayers und Wilhelm Ostwalds bilden. Indes hat nicht allein die theoretische Wissenschaft den Segen dieser modernen Entdeckungen zu ver-

zeichnen, sondern auch die angewandte Wissenschaft; besonders die, die uns hier speziell interessiert, die ärztliche Kunst und die medizinische Wissenschaft hat ein ungeahnt weites und erfolgreiches neues Arbeitsgebiet gefunden, das, obwohl wir erst am Anfange der Entwicklungsmöglichkeit stehen, dennoch bereits der leidenden Menschheit die wunderbarsten Früchte dargeboten hat.

Die Wissenschaft des Radiums ist ein relativ junges Wissensgebiet. Den indirekten Anstoß zur Entdeckung dieser wunderbaren und interessanten Elemente hat Röntgen gegeben, als er im Jahre 1895 die X-Strahlen auffand. Die allgemeine Bewunderung dieser genialen Entdeckung mußte bald den exakten Bemühungen scharfsinniger Forscher Platz machen, die sich die Aufgabe stellten, den Charakter dieser geheimnisvollen Strahlen zu erforschen und andererseits ihre Verwendbarkeit auf dem Gebiete der praktischen Medizin zu prüfen.

Schon ein Jahr später trat Henri Becquerel mit einer nicht minder überraschenden Entdeckung hervor, indem er über gewisse Strahlenwirkungen der Uransalze berichtete. Er kam zu seiner Entdeckung auf folgendem Wege. Bekanntlich gehen die X-Strahlen von derjenigen Stelle der Röntgenröhre aus, die von den Kathodenstrahlen getroffen wird. Nun hatten die ersten Röntgenröhren keine metallene Antikathode, sondern die Kathodenstrahlen trafen die Glaswand, die dabei intensiv fluoreszierte. Es war Henri Poincaré, der zuerst die Frage aufwarf, ob nicht die beobachtete Fluoreszenz die Ursache der Bildung der Röntgenstrahlen sei. Verschiedene Experimentatoren beschäftigten sich mit der Lösung der Frage und zeigten, daß phosphoreszierendes Zinksulfid, belichtet gewesenes Calciumsulfid und Sidotblende durch schwarzes Papier hindurch auf die photographische Platte einwirken. Bei der Nachprüfung dieser (übrigens wohl nicht zutreffenden) Mitteilungen geriet H. Becquerel auf das Experimentieren mit Uransalz und fand nun, daß von dem lebhaft fluoreszierenden Kalium-Uranylsulfat unter Ausschaltung des elektrischen Stromes mit oder ohne Anwesenheit von Sonnenlicht starke Einwirkungen auf die in einer Kassette eingeschlossene photographische Platte ausgeübt wurden, eine Erscheinung, die nur auf bisher unbekannte, von dem Uran-

salze emittierte Strahlen zurückgeführt werden konnte. Diese Beobachtungen wurden alsbald von anderen Physikern, wie Elster und Geitel, Lord Kelvin, Rutherford, Beattie und Smoluchowski, Schmidt usw. bestätigt.

Die Radioaktivität, d. h. die Eigenschaft gewisser Substanzen, dauernd spontan Strahlen bestimmter Beschaffenheit auszusenden, war somit entdeckt und wurde sofort Gegenstand der eifrigsten Forschertätigkeit. Schon zwei Jahre später, 1898, wurde vom Ehepaar Curie die Radioaktivität des Thoriums aufgefunden und aus dem Uranpecherz von demselben Forscherpaar unreines metallisches Radium mittels fraktionierter Kristallisation dargestellt. Im gleichen Jahre gelang es Giesel ebenfalls, das Radium in annähernd reinem Zustande zu gewinnen, während Frau Curie das Polonium, ein Zerfallsprodukt des Radiums, das wahrscheinlich mit dem Radium F identisch ist, auffand. 1899 wurde das Aktinium entdeckt und zwar gleichzeitig von dem französischen Forscher Debierne und dem deutschen Physiker Giesel. Letzterer legte dem neuen Element den Namen Emanium bei. Das Radiothorium und das Mesothorium wurde 1907 von Otto Hahn entdeckt, der bei Ramsay arbeitete. Wenige Jahre später (1911) gelang es Frau Curie, metallisches Radium in reinem Zustande darzustellen.

Nachdem die Röntgenstrahlen auf dem Gebiete der Medizin eine außerordentlich umfangreiche Anwendung gefunden hatten, lag es nahe, auch die neuentdeckten Strahlen den Zielen der Heilkunst dienstbar zu machen, und es wurde denn auch die Anwendungsmöglichkeit der Radioelemente für medizinische Zwecke von Anbeginn des 20. Jahrhunderts an experimentell und klinisch geprüft, zuerst von E. von Leyden und seinen Schülern, später von zahlreichen anderen Klinikern und ihren Mitarbeitern. Von Anfang an haben sich die deutschen Forscher vorwiegend mit der internen Anwendung der Radioelemente, insbesondere der Radiumemanation, des Mesothoriums und des Thorium X beschäftigt, während die französischen und englischen Autoren ihr Interesse mehr der Bestrahlungstherapie, also der externen Anwendung der Radioelemente widmeten.

Es hat sich im Laufe der Jahre herausgestellt, daß die Radioelemente auf dem Gebiete der inneren Medizin wie der Chirurgie, Gynäkologie und Dermatologie eine hochwichtige Bereicherung unseres Heilschatzes darstellen und daß der Enthusiasmus, mit dem in Aerzte- wie in Laienkreisen diese neue therapeutische Errungenschaft begrüßt wurde, in der Tat berechtigt war. Wenn wir auch in das Neuland dieser wunderbaren und interessanten Materie noch nicht so tief eingedrungen sind, um den Wirkungsbereich der Radioelemente völlig zu übersehen, so ist doch der Indikationskreis durch die Arbeiten und durch die Untersuchungen unserer hervorragendsten Forscher im wesentlichen bestimmt worden.

Eine große Anzahl innerer Krankheiten ist der Radiumtherapie zugänglich. An erster Stelle sind zu nennen die Gelenkkrankheiten subakuter und chronischer, neuerdings auch akuter Art vom einfachen Gelenkrheumatismus bis zur Arthritis deformans; des ferneren die mit rheumatischen Gelenkerkrankungen und Knochenleiden einhergehenden Entzündungszustände der Weichteile (Neuralgien, Myalgien usw.); chronische Eiterungen, Exsudate.

Hierzu gesellen sich die verschiedenartigsten Neuralgien, wie die Interkostalneuralgie, Ischias, die lanzinierenden Schmerzen der Tabiker usw.; auch bei diesen oft überaus schmerzhaften Leiden übt die Applikation von Radium, evtl. kombiniert, einen spezifischen Einfluß aus.

Als Uebergang zu den Konstitutions- und Stoffwechselkrankheiten kann man die wohl mit einer Störung im Eiweißumsatz einhergehende harnsaure Diathese betrachten, die ebenfalls durch Emanationsbehandlung günstig beeinflußt wird. Vor allem aber sind die eigentlichen Konstitutions- und Stoffwechselstörungen eine Domäne der Radiumbehandlung, und unter diesen wiederum muß ganz besonders die Gicht hervorgehoben werden, bei der nach dem übereinstimmenden Urteil aller Beobachter (mit ganz vereinzelten Ausnahmen) die Radiumtherapie wahre Triumphe feiert. Auch bei Arteriosklerose und Diabetes werden von verschiedenen Seiten günstige Erfolge berichtet, von anderen eine gewisse Reserve beobachtet; weitere Untersuchungen werden diese Kontroverse klären.

Infolge Steigerung des Grundumsatzes durch Emanation ergeben sich für die Therapie der Fettsucht wichtige Ausblicke. Auch über die günstige Beeinflussung der Skrophulose und der Tuberkulose liegen Berichte vor.

Weiterhin gehören zum Indikationsgebiet der Radiotherapie die Blutkrankheiten schweren Charakters: insbesondere die Anämie, Leukämie und perniziöse Anämie; bei diesen Krankheiten zeigt sich der intensive Einfluß sowohl der Radiumemanation wie des Thorium X auf das Blutbild, indem die Leukozytenzahl nach vorübergehender Steigerung gewaltig herabgesetzt wird, während die Erythrozyten an Zahl zunehmen.

Bei Katarrhen der Schleimhäute auch infektiöser Natur wird durch Inhalation wie durch Trinkkur Besserung bezw. Heilung erzielt; dies bezieht sich auch auf die sonst schwer zugänglichen Katarrhe des Oberkiefers und der Stirnhöhlen.

Bei Nephritis, sogar der chronischen parenchymentösen Form haben einzelne Autoren, allerdings nicht unwidersprochen, auffällige Erfolge erzielt, die vielleicht durch den Einfluß der Emanation auf die Aktivierung der proteolytischen Fermente zu erklären sein mögen.

In einigen Fällen von kroupöser Pneumonie wurde durch Emanationsbehandlung eine auffällige Abkürzung des Krankheitsverlaufes erzielt.

Endlich sei noch auf ein kleines Sondergebiet der Radiumtherapie hingewiesen, das aber wegen der großen Zahl der Patienten und Patientinnen von besonderer Wichtigkeit ist, nämlich auf die Behandlung der Obstipation mit Emanation, die sich nach den Mitteilungen mehrerer Autoren (v. Neusser, v. Noorden, Falta, Armstrong, Kemen u. a.) recht erfolgreich gestaltet; die Bekämpfung der Obstipation auf diesem Wege wäre jedenfalls der Verabreichung von Abführmitteln im allgemeinen bei weitem vorzuziehen und bildet eine recht willkommene Ergänzung der bekannten diätetischen Maßregeln.

Der Emanation kommt in entsprechenden Dosen eine anregende Wirkung zu; sie vermag auch den Stoffwechsel zu erhöhen. Wohl auf diesen Grundlagen beruht es, wenn krankhafte

allgemeine Schwächezustände, wie sie nach Krankheiten zurückbleiben oder im Alter sich bemerkbar machen, durch Emanationsbehandlung eine günstige Beeinflussung erfahren. Eine ähnliche Wirkung kommt dem Thorium X zu.

Diesen ins Gebiet der internen Medizin gehörenden Krankheiten, die im wesentlichen mit Radiumemanation und Thorium X behandelt werden, reihen sich gewisse Leiden an, die der Dermatologe sowie der Chirurg beansprucht und die z. T. bisher aller Therapie getrotzt haben, ja für unheilbar gehalten worden sind. Es sind dies einmal gutartige Hautkrankheiten wie chronisches Ekzem, Psoriasis, Pityriasis, Furunkulose, Seborrhoe, Komedonen, Akne bis zu leichten kosmetisch entstellenden Hautveränderungen, andererseits Hauterkrankungen, die an sich benignen Charakter haben, jedoch zu maligner Entartung neigen, wie die Naevi vasculares, Angiome. Des weiteren kommen Hautleiden infektiöser Natur, wie Lupus und Syphilide, also Tuberkulose und luetische Erkrankungen in Betracht, endlich ausgesprochen bösartige Hautleiden, wie Hautkrebse, Epitheliome und Kankroide, ferner Drüsenkrebse, besonders Karzinom der oberflächlich liegenden Drüsen. Einige Autoren berichten über erfreuliche Resultate bei Sarkom, Melanosarkom, Lymphosarkom. Ebenso sind bei Keloiden außerordentlich günstige Erfolge erzielt worden.

All diese Erkrankungen werden durch die Bestrahlungstherapie spezifisch beeinflußt, jene bösartigen und bisher als unheilbar geltenden Epithelwucherungen, die in zahlreichen Fällen zum frühen Tode führen, gelangen wiederum in den Bereich der Heilbarkeit, und zwar auf einem Wege, der evtl. ohne Operation und in einer ganz überraschend kurzen Zeit zum Ziele führt. Die Bestrahlungstherapie ist besonders von französischen und englischen Forschern wie Soupault, Darier, Wickham, Degrais, Treves, Finzi usw. in ein reguläres System gebracht worden, aber auch deutsche Forscher, vor allem Czerny und seine Schule, (Werner, Caan) haben sich mit dem Ausbau dieses so viel versprechenden Spezialgebietes beschäftigt, und die Literatur legt Zeugnis ab über die eifrige Tätigkeit der Forscher und die geradezu überraschenden Erfolge dieser ärztlichen Kunst.

Gleich günstige Resultate liegen vor auf dem Gebiete der Gynäkologie und zwar speziell in der Behandlung von Uteruskrebsen, Myomen, Fibromen, Metritiden und Metropathien, chronischen Ulzerationen, Kongestionen und Entzündungen der Adnexe, Pruritus vulvae, Lupus vulvae, chronischen Urethritiden usw. In zahlreichen Fällen hat die Strahlentherapie zum Verschwinden der Geschwülste und zur Vernarbung, also zu einer klinischen Heilung geführt, die Jahre hindurch angehalten hat und die mit größter Wahrscheinlichkeit als absolute Heilung bezeichnet werden darf. Ist so in gewissen Fällen eine Operation überhaupt vermeidbar geworden, so hat die Radiumbestrahlung in anderen Fällen eine außerordentlich wertvolle vorbereitende Rolle gespielt, indem das Krebsmaterial erweicht und verflüssigt, jedenfalls in seiner Lebensfähigkeit derart geschädigt worden ist, daß die Operation mit größerer Leichtigkeit und mit mehr Aussicht auf Erfolg ausgeführt werden konnte. Endlich sind Fälle beschrieben, die aus dem Stadium der Inoperabilität durch eine entsprechende Bestrahlung in einen Zustand zurückversetzt wurden, der die Vornahme einer radikalen Operation gestattete.

Es bleibt noch übrig, auf einige Augenleiden hinzuweisen, deren Behandlung mit Radium ebenfalls zu günstigen Erfolgen geführt hat. In der Behandlung des Trachoms, jener hochinfektiösen Erkrankung der Schleimhaut, die auch auf die Kornea oft genug übergreift und gegen die alle bisherigen therapeutischen Bemühungen nahezu machtlos waren, scheinen sich freilich die auf Grund der ersten Veröffentlichungen erregten Hoffnungen nicht zu erfüllen. Dagegen können tuberkulöse Augenentzündungen, Infiltrationen der Hornhaut (Pannus) sowie Geschwüre der Hornhaut einer Heilung entgegengeführt werden.

In der Zahnheilkunde hat sich die Emanationsbehandlung in Fällen von Psoriasis der Mundschleimhaut, Pyorrhoea alveolaris, Lockerung der Zähne mit und ohne Eiterung, marginaler Gingivitis, Leukoplakie der Zunge und des Mundes, Zahnfisteln und Stomatitis ulcerosa bewährt (M. Levy).

Aus vorstehender Zusammenstellung ist ersichtlich, in einer wie großen Anzahl von Krankheiten, noch dazu von Krankheiten schwerster Art die Radiumtherapie eine segensreiche Wirkung zu entfalten imstande ist. Und noch stehen wir am Anfange

dieses Wissensgebietes, noch haben wir bei weitem nicht alle Rätsel gelöst, die diese interessante Materie uns aufgibt, noch haben wir bei weitem nicht alle Richtungen bearbeitet und Möglichkeiten erschöpft, die auf Grund unserer bisherigen Kenntnisse günstige Resultate erwarten lassen. Wir dürfen demnach hoffen, daß sich bei der fortgesetzten eifrigen experimentellen und klinischen Tätigkeit auf dem Gebiete der Radiumforschung der Indikationskreis noch erweitern und präzisieren, daß die Dosierung und die Anwendungsformen bei den verschiedenen Krankheiten genau festgelegt, daß die Arbeitsmethoden nach den verschiedenen Richtungen hin werden erweitert und noch exakter als bisher fixiert werden.

Es sind verschiedentlich im Laufe der Zeiten therapeutische Methoden ausfindig gemacht worden, die vorübergehend wie eine neu erstandene Sonne die medizinische Welt mit ihrem Glanze erfüllt haben, von den Fachkreisen und dem Publikum mit bewundernder Begeisterung begrüßt wurden — und doch alsbald der Vergessenheit anheim fielen, nachdem die kritische Nachprüfung und die unumstößliche Wahrheit der Erfahrungen den Nimbus ihres unechten Glanzes zerstört hatten. Mit diesen ephemeren Erscheinungen darf die Radiumtherapie nicht zusammengeworfen werden, wie das verschiedentlich Skeptiker aus Prinzip versucht haben. Die Strahlentherapie hat bereits den sichern Nachweis geliefert, daß sie berufen ist, in der ärztlichen Kunst eine große Rolle zu spielen, und ihre Erfolge sind historisch geworden. An der großen Gegenwart und an der noch größeren Zukunft dieser therapeutischen Methode ist nicht mehr zu zweifeln, und der heutige Stand der Radiumforschung und der Radiumtherapie läßt die lebhaftesten Hoffnungen berechtigt erscheinen. Nachdem die Radiumtherapie schon jetzt, wo wir noch in den ersten Stadien der Forschung stehen, überaus schöne Erfolge gezeitigt hat, wie sie keine andere Methode bisher erreichen konnte, wird auch der ernste, nüchtern denkende Kritiker eine weitere erfreuliche Entwicklung mit Sicherheit voraussagen können.

I. Kapitel.

Verbreitung und Gewinnung der radioaktiven Substanzen.

Mit Rutherford und Soddy dürfen wir annehmen, daß die Muttersubstanz des Radiums das Uran ist, daß wir also überall da die Erscheinungen der Radioaktivität beobachten können, wo das Uran oder seine Zerfallsprodukte sich vorfinden. Andererseits haben auch die Mitglieder der Familie des Thoriums und der des Aktiniums die Fähigkeit, spontan Energie abzugeben, wie denn im ganzen mehr als 30 radioaktive Substanzen bisher bekannt sind.

Die große Anzahl der radioaktiven Stoffe hat den Gedanken nahe gelegt, ob nicht die Radioaktivität eine Funktion der Materie überhaupt ist, so daß die Radioaktivität überall da vorhanden wäre, wo sich Atome vorfinden.

Diese Ansicht hat sich als nicht stichhaltig erwiesen. Experimentelle Untersuchungen haben erwiesen, daß die Summe von Eigenschaften, die wir nach dem Vorschlage von Curie mit Radioaktivität bezeichnen, nur bestimmten Elementen zukommt, die, untereinander familienweise abgegrenzt, in einem genetischen Zusammenhange stehen. Schon das Blei, das allem Anschein nach zur Familie des Uran gehört, ist unter allen Umständen inaktiv; die bei dem sogenannten Radioblei beobachtete Aktivität hat sich als die Funktion des bei der Bleigewinnung aus Pechblende mit abgeschiedenem Radium D erwiesen (Rutherford).

Das Vorhandensein von Radioaktivität ist also an das Vorhandensein bestimmter Elemente gebunden, die sich in mannigfacher Kombination in Form von Mineralien im Erdreiche vorfinden. Hierbei bedingt die Transformation, in der die Radioelemente beständig begriffen sind, eine ständige Abgabe von

Energie in Form von Wärme, Licht, Elektrizität, eine beständige Erzeugung von Emanation, die sich den umgebenden Medien mitteilt, also auch der umgebenden Luft, dem umgebenden Wasser.

Nun sind allerdings die radioaktiven Mineralien außerordentlich verbreitet, so sehr, daß man sagen darf, es gibt kein zweites Element, das eine ähnlich weite Verbreitung aufweisen könnte wie Radium. Damit hängt es zusammen, daß, wie wir später sehen werden, nicht allein die Luft in gewissen Grotten und Höhlen, sondern fast durchweg die atmosphärische Luft, und zwar nicht nur die mit dem Erdboden in naher Berührung stehende Luftschicht, sondern auch die Atmospäre bis zu erheblichen Höhen hinauf radioaktiv ist, d. h. Emanation enthält. Auch im Erdreich, im Waldboden wie in der Ackererde findet sich Radioaktivität in schwankenden Mengen, wie auch das Meerwasser Emanation gelöst enthält.

Bekannt ist der Versuch von Elster und Geitel, bei dem sie einen auf ein hohes negatives Potential gebrachten Kupferdraht mehrere Stunden lang in freier Luft aufspannten und eine sehr beträchtliche Aktivität an diesem Draht feststellten, die mit der Zeit wieder verschwand. Man kann diese Aktivität durch Abreiben der Oberfläche des Drahtes mit einem mit Ammoniak befeuchteten Leder auf dieses übertragen und erhält beim Veraschen des Leders in der Asche eine Materie, die auf die photographische Platte einwirkt und Phosphoreszenz erregt, sich also als aktiver Niederschlag repräsentiert. Dieser Versuch fällt positiv aus auch in einer Höhe von 3000 m über dem Erdboden, und ebenso ist die Luft über dem Meere emanationshaltig, was durch ihre elektrolytische Leitfähigkeit (1000 Ionen pro ccm, Eve) nachgewiesen werden kann. Dementsprechend sind auch die atmosphärischen Niederschläge radioaktiv, wie Wilson am Regenwasser und Allan an frischgefallenem Schnee feststellte.

Die Konzentration der Emanation nimmt entsprechend der Entfernung von dem erzeugenden Radioelement ab, findet sich also in größerer Menge an denjenigen Orten, wo sich radioaktive Mineralien in entsprechender Menge vorfinden. Nach den Untersuchungen von Strutt und Joly sind die vulkanischen grani-

tischen Gesteine die radiumreichsten; ihr Radiumgehalt beträgt im Mittel $1{,}7 \cdot 10^{-12}$ pro Gramm Gestein und schwankt zwischen $10 \cdot 10^{-12}$ und $0{,}6 \cdot 10^{-12}$ Gramm Radium. Der mittlere Radiumgehalt in sedimentären Gesteinen ist etwas geringer; er beträgt $1{,}1 \cdot 10^{-12}$ Gramm Radium im Gramm Gestein (Curie, Radioaktivität, Band II, Seite 507). Immer müssen die Gesteine eine bestimmte Menge Uran als Muttersubstanz des Radiums enthalten, und zwar entspricht ein Gehalt von 10^{-12} Gramm Radium ein Gehalt von etwa $3 \cdot 10^{-6}$ Gramm Uran im Gramm Gestein.

Im Folgenden sei eine Tabelle wiedergegeben, in der die von Boltwood und Strutt bei der Bestimmung des Gehaltes der hauptsächlich in Betracht kommenden Mineralien an Radium erhaltenen Resultate zusammengestellt sind (entnommen aus Curie, Radioaktivität).

	Q	q Prozent	p Prozent	$\frac{Q}{p}$
Uraninit (Pechblende)	170,00	11,3	74,65	228
Uraninit	155,1	5,2	69,6	223
Gummit	147,0	13,7	65,38	225
Uraninit	139,6	5,6	61,74	226
Uranophan	117,7	8,2	51,68	228
Uraninit	115,6	2,7	50,64	228
Uranophan	113,5	22,8	49,84	228
Thorogummit . . .	72,9	16,2	33,17	220
Carnotit	49,7	16,3	22,61	220
Uranothorit	25,2	1,3	11,38	221
Samarskit	23,4	0,7	10,44	224
Orangit	23,1	1,1	10,34	223
Euxenit	19,9	0,5	8,71	228
Thorit	16,6	6,2	7,54	220
Fergusonit	12,0	0,5	5,57	215
Aeschynit	10,0	9,2	4,52	221
Xenotim	1,54	26,0	0,70	220
Monazitsand	0,88	—	0,43	205
Monazit krist. . . .	0,84	1,2	0,41	207
Monazit derb . . .	0,63	—	0,30	210

In dieser Tabelle bedeutet Q die Menge der in 1 Gramm des Minerals im Gleichgewicht enthaltenen Emanation, q den Teil der Emanation, der bei gewöhnlicher Temperatur aus dem Mineral entweicht, p den Prozentgehalt des Minerals an Uran.

Es ergibt sich, daß das Verhältnis Q : p annähernd für alle angegebenen Mineralien konstant ist, selbst für solche, die, wie Thorogummit oder Uranophan, aus dem Uraninit durch Einwirkung von Wasser entstanden sind. Es äußern sich in der Konstanz dieses Verhältnisses die engen genetischen Beziehungen zwischen Uran und Radium.

Nach Szilard sind bis jetzt etwa 110 Arten uran- und thoriumhaltiger Erze bekannt und hauptsächlich über ca. 500 Orte verteilt (Le Radium, 1909, S. 233). Besonders reich an Uran und Thorium sind nach genanntem Autor die Mineralien Uraninit, wie es sich in Norwegen findet, und Thorianit, wie es besonders auf der Insel Ceylon vorkommt; ersteres enthält 4 bis 11 % Thorium und 65—74 % Uran, letzteres 65—74 % Thorium und 4—11 % Uran.

Je einfacher zusammengesetzt das radiumhaltige Mineral ist, desto unkomplizierter wird auch die Darstellung des Radiums bezw. seiner Salze sein. Indes stehen die sekundären Mineralien an Menge hinter den primären Gesteinen zurück, als deren wichtigster Repräsentant die Pechblende (Uranerz, Uranin) anzusehen ist. Diese Pechblende bildet den hauptsächlichen Ausgangspunkt für die technische Gewinnung des Radiums. Ein sekundäres Mineral, das durch Behandlung mit Baryum zur Gewinnung von Radium verwendet wird, ist der Autunit und der Carnotit.

Die Pechblende wurde auch von den Curies benutzt, als sie ihre Arbeiten über die Darstellung des Radiums, des Poloniums, des Aktiniums usw. begannen. Wegen der komplizierten Zusammensetzung des Pechurans war ein außerordentlich kompliziertes analytisches Verfahren zur Abscheidung der begleitenden Elemente erforderlich. Die ungefähre Zusammensetzung der Pechblende ergibt sich aus folgenden Zahlen.

$U_3 O_8$	75
$Sb_2 S_3$	5
$Si O_2$	3
Ca O	5
Fe O	3
Mg O	2
Zusammen	93

Der Rest besteht aus Wismut, Antimon, Arsen, Kupfer, Zink, Aluminium, Nickel, Kobalt, Vanadium, Silber, Baryum, Thallium, Niob, Tantal und anderen seltenen Erden. Auch Gase, insbesondere auch Edelgase Argon und Helium finden sich in der Pechblende.

Die erste Aufgabe ist die Trennung des radiumhaltigen Baryums, des poloniumhaltigen Wismuts und der seltenen Erden, die auch das Aktinium enthalten. In der Pechblende sind die Metalle und seltenen Erden zumeist als Sulfat enthalten, ebenso das Radium. Die Sulfate werden mit einer kochenden konzentrierten Sodalösung behandelt, wobei in die alkalische Lösung auch Blei aufgenommen wird, das durch Schwefelsäure als radioaktives Blei gefällt werden kann. Der unlösliche Anteil wird mit Salzsäure behandelt, Polonium und Aktinium in Lösung gebracht, während das Radium in dem in Salzsäure unlöslichen Teil zurückbleibt. Durch wiederholtes Behandeln mit kochender konzentrierter Sodalösung und darauf mit Salzsäure erhält man das Radium neben Polonium und Aktinium in Lösung und fällt aus dieser den radiumhaltigen Baryt mit Schwefelsäure.

Aus einer Tonne Rückstände erhält man nach Curie 10 bis 20 kg roher Sulfate, die 30 bis 60 mal so aktiv sind als Uranmetall. Diese Sulfate werden mit Alkalien und Säuren behandelt, bis zuletzt ungefähr 8 kg radiumhaltiges Baryumchlorid zurückbleibt, dessen Aktivität etwa 60 mal so groß ist wie die des Uranmetalls. Diese Chloride werden nun zur Trennung des reinen Radiumchlorid vom radiumhaltigen Baryumchlorid der fraktionierten Kristallisation unterworfen.

Die mächtigsten Lager des Uranpecherzes finden sich im Erzgebirge und den anschließenden Höhenzügen und ihren Ausläufern. In den Felsmassen dieses durch seine wertvollen Erze

seit Jahrhunderten berühmten Gebirges liegen gewaltige Schätze von Uranerz verborgen, wie schon die zahlreichen aus dem Innern des Gebirgsleibes hervorbrechenden radioaktiven Quellen sowie der Reichtum der Luft an Emanation in gewissen Bezirken zur Genüge beweisen. Ueber die Tiefe, in der sich das uran- und demgemäß auch radiumhaltige Erz vorfindet, sind allgemeine geologische Feststellungen noch nicht vorhanden, werden jedoch, nachdem man den überaus hohen Wert der Radioelemente erkannt hat, z. T. unter staatlicher Regie aufs eifrigste betrieben.

Des genaueren erforscht sind die geologischen Verhältnisse in St. Joachimsthal i. Böhmen, der ältesten und bisher ergiebigsten Gewinnungsstätte der Pechblende. Seit langer Zeit ist an dieser Stelle der Bergbau betrieben worden, ohne daß der ungeheuer wertvolle Schatz, den die Rückstände an Uranpecherz bedeuten, erkannt und gewürdigt worden wäre. Erst die Entdeckungen von Becquerel und Curie lenkten die Aufmerksamkeit auf dieses als wertloser Rückstand beiseite geworfenen Materials.

Um die geologische Erforschung von St. Joachimsthal hat sich besonders Stép verdient gemacht. Nach seinen Feststellungen bildet eine Quarzschicht das Fundament, auf welches das Uranerz in Krusten sich absetzt, während zu oberst eine Schicht rötlich gefärbten Dolomites liegt. Das Uranerz ist älter als das Silbererz; es bildet nicht zusammenhängende Lager, sondern findet sich in schmalen Gängen oder auch in einzelnen verschieden geformten Nestern von etwa 1 Dezimeter Höhe vor. Selten sieht man auch kompakte Stücke bis zu 50 kg Gewicht.

Nach Ansicht von Stép und Becke ist die Bildung des Uranerzes, wie sich aus geologischen Gesichtspunkten ergibt, aus wässerigen Lösungen erfolgt, so daß die Uranerzschicht einen sekundären Niederschlag aus den zwischen die Quarz- und Dolomitschicht eindringenden Wässern darstellt.

Bis zur Verwertung des Erzes für die Radiumgewinnung bezweckte der Bergbau in Joachimsthal hauptsächlich den Abbau der Silbererze. Interessant ist die Tatsache, daß die sehr vernachlässigten Rückstände von der dortigen Bevölkerung seit alten Zeiten schon im medizinischen Sinne verwendet worden

sind, indem Stücke von Pechblende, in Ledersäckchen eingenäht, im Falle einer rheumatischen Erkrankung des Knochen-, Muskel- oder Nervensystems von den Patienten auf der schmerzenden Stelle getragen wurden — eine Therapie, die, wenn sie wahrscheinlich auch nicht vom Arzte verordnet war, doch jedenfalls gute Dienste geleistet haben muß. Im übrigen sind rheumatische Erkrankungen unter der Bevölkerung, auch unter den Bergarbeitern sehr selten anzutreffen. Nach unseren heutigen Kenntnissen von der Wirkung des Radiums und seiner Emanation sind wir geneigt, diese Tatsache in Zusammenhang mit dem reichen Gehalt der Luft und des Wassers an Emanation zu bringen, die den Bergleuten trotz aller meteorologischen und klimatischen Widerwärtigkeiten eine gewisse Immunität vor dieser Kategorie von Krankheiten verleiht. Somit wäre hier wieder einmal die rohe Empirie, der „blinde" Volksinstinkt der wissenschaftlichen Forschung vorausgeeilt.

Je nach der Lagerung der radioaktiven Erze, die speziell von Stép und Becke untersucht wurde, je nach der mehr oder weniger innigen und anhaltenden Berührung der Grubenluft und des aus dem Innern hervorbrechenden Wassers ist der Emanationsgehalt der Luft und des Wassers verschieden. Allerdings vertritt Stép die Ansicht, daß der Emanationsgehalt der Quellen von emanationsreichen Wasserdämpfen herrühre, die durch Gesteinspalten zu Tage steigen. Im Gegensatz hierzu meint Petraschek, daß die hervorbrechenden Wässer ihr Quellgebiet in Nestern oder Schichten von Uranerz hätten und durch direkte Imprägnation ihren Gehalt an Emanation erhielten.

Das Quellwasser wird in Joachimsthal in mehreren Reservoiren gesammelt, muß aber dann eine über 4 km lange Rohrleitung passieren, ehe es in der staatlichen Anstalt zur Verwendung gelangt. Beim Anlangen an seinem Bestimmungsort beträgt die Aktivität des Wassers 600 Mache-Einheiten pro Liter. Neuerdings ist eine Quelle entdeckt, die sogar 5600 M.-E. pro Liter enthalten soll.

Daß die uran- bezw. radiumführenden Gesteine nicht nur in einem beschränkten Gelände sich vorfinden, sondern sich über weite Gebirgsstrecken hin ausdehnen, geht aus der Tatsache hervor, daß im Zuge des Erzgebirges und des Fichtelgebirges

radioaktive Quellen keine Seltenheit sind. Eine besondere Dichte erreicht die Emanation in dem Brambacher Wassernetz, das in einer Anzahl von radioaktiven Quellen mit einem mittleren Gehalt von 200 M.-E. zu Tage tritt, vor allem aber die sogenannte Wettinquelle speist, die nach Fresenius und Weidig ca. 2000 M.-E. pro Liter enthält. Nach den geologischen Untersuchungen von Weidig ist das Auftreten der stark radioaktiven Wässer an eine Spalte oder an ein System von Spalten gebunden, das sich längs des Nordrandes des Granitmassivs ziemlich genau in ostwestlicher Richtung hinziehen mag, oberflächlich angedeutet durch das Thal des Röthenbaches; diese Linie wird anscheinend von einer Anzahl nahezu parallel verlaufender tektonischer Spalten unter einem Winkel von etwa 50 bis 60° gegen Nordwest gekreuzt und gerade an den Stellen, wo Weidig diese Kreuzungen annimmt, finden sich die höchstaktiven Wässer des ganzen Gebietes.

Ein weiterer Fundort für Radium ist Kreuznach, das über 16 stark radioaktive Soolquellen verfügt; das Quellwasser stammt aus einer Tiefe von bis zu 200 Metern, das Gestein besteht vornehmlich aus Porphyr. An Mineralien finden sich im Soolwasser außer ca. 1¼ % Kochsalz Chlorcalcium, Brommagnesium, Calciumcarbonat, Lithumcarbonat, Magnesiumcarbonat, Spuren von Baryum, Arsen usw. sowie von Radium, Mesothorium und Aktinium bezw. ihrer Salze. Die Quellen enthalten reichlich Emanation.

Das Wasser macht einen Gradierprozeß durch, wobei sich aus der Soole infolge Verlustes von Kohlensäure ein braunroter Schlamm ausscheidet, der sogenannte Quellsinter, in dem Aschoff im Jahre 1904 das Vorhandensein von radioaktiven Stoffen feststellte.

Der Quellsinter wird gesammelt und an Ort und Stelle verarbeitet, indem er zunächst von Eisenkalk, Magnesia und anderen begleitenden Mineralien durch Behandlung mit schwefelsäurehaltiger Salzsäure befreit, alsdann ausgewaschen, mit Soda gekocht, wieder ausgewaschen, in Salzsäure gelöst und endlich mit Schwefelsäure versetzt wird; es fällt Radiobaryt als weißes, unlösliches Sulfat heraus und zwar in einer Menge von 3 % des ursprünglichen Sinters.

Dieser Niederschlag wird einer komplizierten fraktionierten Kristallisation unterworfen, analog dem Verfahren, wie es Curie zur Gewinnung des Radiums aus der Pechblende eingeschlagen hatte.

Es wurde schon darauf hingewiesen, daß die in einer bestimmten Menge radioaktiven Minerals enthaltene Menge Radium zu der darin enthaltenen Menge Uran in einer bestimmten gesetzmäßigen Beziehung steht. Gerade in dieser Tatsache wird ein Beweis dafür erblickt, daß das Radium durch Zerfall des Urans entsteht. Eine Konstante für die Menge des jeweils aus dem Uran entstandenen Radiums ist die Beziehung der Lebensdauer des Radiums zu der des Urans. Da nun die mittlere Lebensdauer des Urans rund 3 Millionen mal so groß ist wie die des Radiums, kann der Radiumgehalt eines Uranerzes auch immer nur den dreimillionsten Teil des in dem Mineral vorhandenen Urans entsprechen. Würde also, um ein Beispiel von Kohlrausch zu zitieren, in 1000 kg Joachimsthaler Pechblende eine Menge von 680 kg Uran enthalten sein, so würde diese im Höchstfalle 0,22 g Radium enthalten. In Wirklichkeit stellen sich die Verhältnisse noch viel ungünstiger. Um ein Gramm metallisches Radium zu gewinnen, sind rund 10 000 kg beste Joachimsthaler Pechblende erforderlich; dieses Gramm würde einen Wert von etwa 400 000 Mark repräsentieren.

Seitdem Oesterreich die Ausfuhr von Pechblende verboten hat, hat man nach einem Ersatz gesucht und diesen auch in einigen Mineralien, insbesondere in dem uranhaltigen Sandstein Carnotit aus Colorado gefunden, von dem allerdings die zehnfache Menge erforderlich ist, um das gleiche Quantum Radiumsalz zu gewinnen. Neuerdings scheint — Zeitungsnachrichten zufolge — die Gewinnung von Radium in Colorado im großen Stile und mit besonders günstigen Aussichten unternommen zu werden.

Ein neues Verfahren, das eine besonders günstige Ausbeute liefert, wird von dem Radiumwerk Neulengbach in Oesterreich eingeschlagen; dieses Verfahren gestattet die Verarbeitung von 10 000 kg Pechblende in etwa 6 Wochen und die Gewinnung von Radiumsalzen in einer größeren Menge, als es bisher möglich war. Genaueres ist über dieses Verfahren nicht bekannt. Die mit diesen Radiumsalzen hergestellten Emanationspräparate

sollen eine bisher unerreichte Aktivität aufweisen, nämlich in 100 ccm 8000 bis 30 000 M.-E. enthalten.

Im Handel befinden sich ausschließlich Radiumsalze, besonders das Chlorid, das Bromid, das Sulfat und das Karbonat. Reines Radium als Metall ist nicht im Handel. Frau Curie gelang es im Jahre 1911, reines metallisches Radium darzustellen, indem sie bestimmte Mengen Radiumchlorid unter Verwendung von metallischem Quecksilber als Kathode elektrolysierte; hierbei bildete sich ein Radiumamalgam, aus welchem der Quecksilberbestandteil abdestilliert werden konnte und das elementare Radium als silberweißer metallischer Niederschlag zurückblieb.

Wir haben gesehen, daß das Radium bezw. seine Zerfallsprodukte zu den verbreitetsten Elementen gehören, die wir kennen. In der Atmosphäre bis zu gewaltigen Höhen, in der Erdoberfläche, mag sie im flüssigen oder festen Aggregatzustande sein, wie im Innern der Erde befindet sich die Radioaktivität, ausgehend von Emanationen oder von anderen radioaktiven Elementen. Strutt berechnete, daß die Erdrinde im Mittel $4 . 10^{-12}$ Gramm Radium pro ccm enthält. Im Meerwasser fand Strutt $2{,}3 . 10^{-15}$ g Radium pro Gramm, Eve $9 . 10^{-16}$ g, Joly $3{,}4 . 10^{-14}$ g in der Nähe der Küste und $1{,}1 . 10^{-14}$ g auf hoher See. Der Gehalt schwankt nach geographischer Lage, Meerestiefe, Strömung und meteorologischen Einflüssen. Auch auf der Sonne ist Radium nachgewiesen worden. Snyder fand in der Photosphäre der Sonne die Merkmale des Radiums vor; nach Curie enthält zwar das Sonnenspektrum nicht die Kennzeichen des metallischen Radiums, wohl aber des Heliums (Rutherford), und da das Helium identisch ist mit den vom Radium ausgehenden Alpha-Strahlen, so darf man schließen, daß im zentralen Teile der Sonne Radium vorhanden ist, zumal wir wissen, daß auf der Sonne die gleichen Elemente vorkommen wie auf der Erde.

Die allgemeine Verbreitung und die physikalischen Eigenschaften der Radioelemente haben den Gedanken nahegelegt, daß die tellurische Wärme wie überhaupt die kosmischen Temperaturverhältnisse wesentlich beeinflußt werden von den vom Radium ausgehenden Energiemengen. Diese Energie ist so groß, daß ein mittlerer Gehalt von ungefähr $2 . 10^{-13}$ g Radium

im Kubikzentimeter Erde ausreichen würde, um das Wärmegleichgewicht herzustellen. Strutt fand nun, wie oben bemerkt, einen ungefähr zwanzig mal größeren durchschnittlichen Gehalt der Erdrinde an Radium; dazu kommen noch die von Thorium und seinen Zerfallsprodukten emittierten Energien. Nach dieser Rechnung müßte die Wärme der Erde fortschreitend zunehmen, wenn die radioaktiven Substanzen gleichförmig in der Erdmasse verteilt wären. Der tatsächliche Temperaturgradient weist aber darauf hin, daß der Radiumgehalt nach dem Mittelpunkt der Erde zu abnimmt und in einer Tiefe von 75 km gleich Null wird.

Jedenfalls ist nicht zu bezweifeln, daß die Radioelemente vermöge der ungeheuren Energie, die sie in sich aufgespeichert haben und die so groß ist, daß die Lebensdauer des Urans nach Millionen von Jahren zählt und die des Radiums etwa 2000 Jahre beträgt, einen außerordentlich großen Einfluß auf die Temperaturverhältnisse der Erde ausüben. Die relative Größe ihrer Energie fällt um so mehr in die Augen, wenn man bedenkt, in welch überaus geringen Mengen die Radioelemente, im absoluten Sinne genommen, vorhanden sind. Deshalb auch ist die Gewinnung so außerordentlich erschwert, und deshalb ist das Radium das kostbarste aller Elemente, einmal weil es so überaus selten ist, dann aber auch, weil schon eine minimale Menge eine ungemein große Energie in sich begreift, die speziell auch der leidenden Menschheit zugute kommen kann.

Auch das Thorium ist in der Erdrinde sehr verbreitet und findet sich namentlich im vulkanischen Gestein, der Lava sowie in den sedimentären Gesteinen. Der Gehalt des Erdbodens an Thorium ist von verschiedenen Forschern bestimmt worden. Blanc brachte einen negativ geladenen Draht unter einem Rezipienten unmittelbar über dem Erdboden an und bestimmte die induzierte Aktivität vom Thoriumtypus. Er fand bis zu 80 % der gesamten Aktivität. Hieraus berechnete Blanc einen Gehalt von $1{,}5 \cdot 10^{-5}$ g Thorium pro Gramm Erdboden.

Auch im Meerwasser ist Thorium nachgewiesen.

Die Emanation des Thoriums läßt sich zu diesen Untersuchungen nicht oder nur indirekt verwenden, da sie eine außerordentlich geringe Lebensdauer hat.

In einer Reihe von Mineralien findet sich Thorium in besonders großer Menge z. B. im Polycras, Euxenit, Samarskit, Gadolinit, Pyrochlor, Orangit usw. Besonders reich an Thorium ist der vor einiger Zeit in Ceylon gefundene Thorianit, der in Würfeln kristallisiert und zu 70 bis 80 % Thoroxyd (nach Szilard 65—74 %) neben Uranoxyd, Eisen, Blei und seltenen Erden enthält; auch ist dieses Material sehr reich an Helium.

Aus diesem Mineral, von dem Ramsay 250 kg erworben hatte, um Radium zu gewinnen, stellte Otto Hahn das Radiothorium her, das er bei der fraktionierten Kristallisation des aus dem Thorianit abgeschiedenen Radiums entdeckte. Bei dem Studium der Eigenschaften des Radiothoriums fand er wiederum eine neue Substanz, das Mesothorium, das als ein Derivat des Thoriums aufzufassen ist und seinerseits in Radiothorium übergeht.

Neben dem Mesothorium interessiert uns hier besonders das Thorium X, das man gewinnen kann, wenn man die Lösung eines Thoriumsalzes mit Ammoniak fällt; das Thorium X verbleibt dann in der amoniakalischen Lösung.

Das Ausgangsmaterial für diese beiden medizinisch bedeutungsvollen radioaktiven Stoffe ist das Thorium. Es würde am leichtesten zu gewinnen sein aus dem Thorianit oder anderen Mineralien mit hohem Thoriumgehalt, doch ist von diesen Mineralien eine für die technische Gewinnung ausreichende Menge nicht zu beschaffen.

Das wichtigste Ausgangsmaterial für das Thorium ist der Monazitsand, der in Brasilien gefunden wird und neben etwa 7½ % Thoriumoxyd das Cer und verwandte Metalle als phosphorsaure Salze enthält. Bekanntlich wird dieses Mineral in der Glühstrumpfindustrie in ausgedehntem Maße verwendet; es verbleiben hierbei Rückstände, aus denen das Mesothorium und das Thorium X mittels komplizierter und kostspieliger Methoden gewonnen werden. Aus einer Tonne = 20 Zentner Monazitsand gewinnt man etwa 1 mg Mesothorium. Der Preis ist daher entsprechend hoch, nämlich ca. 200 000 M. pro Gramm. Zurzeit ist

Mesothorium bezw. Thorium X überhaupt nicht käuflich, sondern wird nur verliehen. Etwa doppelt so teuer ist das Radium; 1 Gramm reines Radiumbromid kostet zurzeit ca. 350 000 M.

Stets finden sich auch Angehörige der Radiumfamilie in Begleitung des Thoriums, so enthält der Monazitsand 0,3 % Uran neben dem Thoroxyd, und das aus den Rückständen der Glühstrumpffabrikation gewonnene radioaktive Material enthält Radium und Mesothorium in einem Mengenverhältnis von 1 zu 3.

Für Laboratoriumszwecke kann man Thorverbindungen aus Glühstrumpfresten darstellen. Man verfährt dabei so, daß man das Ausgangsmaterial mit konzentrierter Schwefelsäure anreibt, bis zur Staubtrockene glüht, pulverisiert und nach und nach in Eiswasser unter Umrühren einträgt. Hierbei geht das Thorium in Lösung und wird durch Natriumnitrit als Hydroxyd $Th(OH)_4$ ausgefällt. Man löst den Niederschlag mit Zitronensäure, beseitigt die noch anhaftenden Verunreinigungen durch Zusatz von Ammoniak und Schwefelammonium und dampft das Filtrat ein, wobei das Thorium zurückbleibt.

Auch das Aktinium scheint allgemein verbreitet zu sein in gleicher Weise wie Radium und Thorium und tritt auch stets als Begleiter dieser radioaktiven Elemente auf. Im übrigen ist das Aktinium noch nicht so eingehend Gegenstand der Forschung gewesen wie die Schwesterelemente, wenigstens hinsichtlich seiner tellurischen Bedeutung und seiner Anwendung auf medizinischem Gebiete.

An einzelnen Stellen der Erdoberfläche ist Aktinium nachgewiesen worden. So gelang es Giesel, dieses Element aus dem Humusboden von Capri abzuscheiden und Dadourian und Gockel haben mit dem Elster- und Geitelschen Versuch an den nahe am Erdboden ausgespannten Drähten eine induzierte Radioaktivität vom Typus des Aktiniums beobachtet.

Debierne fand das Aktinium in den Oxyden der Eisengruppe, die aus der Pechblende isoliert wurde. Die dem Chemiker beim Arbeiten mit seltenen Erden besonders in analytischer Hinsicht entgegentretenden Schwierigkeiten vereinigen

sich beim Arbeiten mit Aktinium. Dieses Element schließt sich den übrigen seltenen Erden, mit denen es vergesellschaft ist, immer wieder an, so daß nach den bisherigen chemischen Methoden eine Trennung außerordentlich schwierig und eine Isolierung bis zu einem zur Bestimmung seiner Eigenschaften ausreichenden Grade der Reinheit nicht möglich ist. Wohl aber ist eine Scheidung soweit gelungen, daß einige grundlegende chemische und physikalische Eigenschaften studiert und auch für medizinische Zwecke geeignete Präparate hergestellt werden konnten.

II. Kapitel.

Chemie und Physik der radioaktiven Elemente.

Das Studium der chemischen und physikalischen Eigenschaften der radioaktiven Substanzen ist nach verschiedenen Richtungen hin außerordentlich erschwert. Einmal ist es notwendig, mit sehr geringen Mengen zu manipulieren, deren Herstellung noch dazu durch zahlreiche begleitende und nur auf höchst kompliziertem Wege zu trennende Verunreinigungen erschwert ist, so daß die Mehrzahl der radioaktiven Stoffe in völlig reinem Zustande überhaupt noch nicht dargestellt worden ist. Ein weiteres die chemische Analyse erschwerendes Moment ist die Tatsache, daß die radioaktiven Elemente beständig in Umwandlung begriffen sind, also eine spezifische Lebensdauer haben, die bei manchen dieser Substanzen oder gasförmigen Zerfallsprodukte außerordentlich kurz ist, z. B. zerfällt die Thoriumemanation bereits in 53 Sekunden, das Thorium C_1 in 55 Minuten, Thorium C_2 in 10 bis 12 Sekunden, die Radiumemanation in 3,85 Tagen um die Hälfte usf. Endlich ist der Chemiker und der Physiker darauf angewiesen, gewisse Eigenschaften auf indirektem Wege mittels Beobachtung sekundärer oder tertiärer Reaktionen zu ermitteln.

Trotz der Schwierigkeit der Materie, die natürlich anderseits das Interesse der Forscher besonders provozieren mußte, sind doch die chemischen Eigenschaften — neben den physikalischen — der radioaktiven Substanzen soweit festgestellt worden, daß die Medizin in die Lage versetzt worden ist, sich dieser Ergebnisse zu therapeutischen Zwecken zu bedienen.

Wie bereits ausgeführt, sind die Ausgangsmaterialien für die Gewinnung der radioaktiven Elemente gewisse Mineralien, und zwar finden sich in der Regel in diesen Gesteinen, Erzen usw. sowohl die Mitglieder der Radiumfamilie wie die der Thorium-

familie und der Aktiniumfamilie vergesellschaftet, und zwar in bestimmten Mengenverhältnissen, in einem gewissen Gleichgewichtszustande, wie an zahlreichen Mineralien festgestellt. Diese merkwürdige Beziehung betrifft sowohl die Glieder jeder einzelnen radioaktiven Familie unter sich in dem Sinne, daß wir z. B. aus dem Radiumgehalt eines Minerals theoretisch auf den Urangehalt schließen können und umgekehrt, anderseits stehen auch die Glieder der verschiedenen radioaktiven Familien vielfach in bestimmten quantitativen Beziehungen, z. B. der Thoriumgehalt zum Radiumgehalt im Monazitsand, Thorianit usw., der Radium- zum Aktiniumgehalt in der Pechblende usf. Diese Beziehungen wären nicht weiter auffällig, wenn sie sich auf die Mitglieder einer einzelnen Familie unter sich beschränkten, da das eine Element immer das Tochterprodukt des vorhergehenden und die Muttersubstanz des nachfolgenden ist; daß aber auch die Familien in ihren hauptsächlichen Repräsentanten vielfach in bestimmten Verhältnissen vergesellschaftet vorkommen, läßt den Gedanken nicht unberechtigt erscheinen, daß eine ziemlich weitgehende chemische und physikalische Verwandtschaft zwischen den einzelnen radioaktiven Gruppen besteht, ja daß vielleicht sogar gewisse genetische Zusammenhänge zwischen der Familie des Radiums, des Thoriums und des Aktiniums bestehen. Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß das Aktinium neben der Radiumgruppe eine Tochtersubstanz des Urans ist.

An gemeinsamen physikalischen Gesetzen der Radioelemente sind die folgenden hervorzuheben.

1. Jedes Radioelement zerfällt spontan nach einem spezifischen Exponentialgesetz. Die dieses Gesetz veranschaulichende Größe ist also charakteristisch; sie führt die Bezeichnung $\lambda =$ Zerfallskonstante. Für die Radiumemanation z. B. gilt

$$\lambda = 2{,}085 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{sec.}}$$

Der Wert λ bezeichnet den in der Zeiteinheit zerfallenden Teil der überhaupt in einem gegebenen Augenblick vorhandenen Atome des Radioelements.

2. Die zur Umwandlung der Hälfte der vorhandenen Atome

notwendige Zeit T ist ebenfalls eine Konstante (Zerfallsperiode, Halbwertszeit). Zu ihrer Berechnung dient die Formel

$$e^{-\lambda T} = \frac{1}{2}, \text{ also}$$

$$T = \frac{\log 2}{\lambda \log e},$$

worin e = elektrische Ladung.

Für Radiumemanation ist T = 3,85 Tage.

3. Jedes Atom eines Radioelements besitzt eine bestimmte mittlere Lebensdauer, die ebenfalls eine Konstante ist und mit Θ bezeichnet wird. Ihre Berechnung erfolgt nach einer komplizierten Formel, die für den Mediziner kein direktes Interesse bietet.

Für die Radiumemanation ist Θ = 133,2 Stunden = 5,55 Tage.

4. Die Strahlung eines einfachen Radioelementes ist proportional der Zahl der in der Zeiteinheit zerfallenden, also auch der in einem gegebenen Augenblick vorhandenen Atome.

Im folgenden besprechen wir die speziellen chemischen und physikalischen Eigenschaften jedes einzelnen Radioelementes, wobei wir uns — wie auch im Vorstehenden — auf die für den Mediziner wichtigen Daten beschränken.

Uran.

Die Darstellung des Urans und seiner Verbindung ist zuerst Klaproth 1789 und etwa 15 Jahre später Péligot gelungen (siehe Seite 18). Das Atomgewicht des Urans beträgt 283,5, das spezifische Gewicht 18,7, die Valenz ist in den verschiedenen Verbindungen verschieden, indem das Uran 2,4,6,8 wertig, selbst 5 wertig auftritt.

Das Uran gehört zu den Metallen, zeigt Farbe und Glanz des Nickels oder Eisens im kompakten Zustande, ist sehr schwer und sehr hart. An der Luft nimmt es eine gelbliche Färbung an. In pulverisiertem Zustande sieht es schwarz aus. Es schmilzt bei Weißglut und oxydiert sich beim Glühen an der Luft zu Uran-

oxyd U_3O_8. Mit Sauerstoff bildet es auch eine niedrigere Oxydationsstufe, das Uranoxydul UO_2, das als ein Radikal aufzufassen ist (Uranyl) und mit gewissen Säuren salzartige Verbindungen eingeht.

In der Natur wird am häufigsten das Uranoxyduloxyd U_3O_8 angetroffen, welches sich auch beim Erhitzen des Uranoxyds UO_3 unter Austritt von Sauerstoff bildet; letzteres Uranoxyd entsteht beim Erhitzen des salpetersauren Salzes.

Die Uransäure $UO_2(OH)_2$, ein gelbes amorphes Pulver, bildet sich beim Erhitzen des Uranoxyds mit Salpetersäure.

Löst man Uranoxydul oder Uranoxyd oder Uranpecherz in Salpetersäure, so kristallisiert aus der Lösung beim Eindampfen das Uranylnitrat $UO_2(NO_3)_2 + 6H_2O$ in großen grünlichgelben Prismen, die in Wasser und Alkohol löslich sind. Hier tritt das Uranyl UO_2 als zweiwertige Base auf, die mit Säuren Salze bildet. Anderseits nimmt das Uranoxyd starken Basen gegenüber sauren Charakter an. Auch eine Ueberuransäure nebst ihren mit einem 8wertigen Uran gebildeten Salzen ist bekannt (Melikoff und Pissarjewsky).

Das Uran und seine Verbindungen haben bisher in der analytischen Chemie (Uranylnitrat zur titrimetrischen Bestimmung der Phosphorsäure) sowie in der technischen Chemie Verwendung gefunden, und zwar wird das Natriumuranat $Na_2U_2O_7$ in der Glasfabrikation und Glasmalerei als Urangelb zur Gelbfärbung des Glasflusses, ferner das Uranoxydul in der Porzellanmalerei zur Schwarzfärbung verwendet.

Eine Zeitlang hat man Uranverbindungen gegen die Zuckerkrankheit empfohlen, jedoch hat sich diese Therapie nicht behaupten können, da die von einzelnen Autoren berichteten Erfolge von anderen bestritten wurden. Jedenfalls sind die Uransalze sehr giftig und erzeugen selbst in geringen Mengen Vergiftungserscheinungen, besonders schwere Nierenentzündung.

Das Urannitrat zeigt im ultravioletten Licht die Erscheinungen der Phosphoreszenz. Das Uranium selbst sendet Alpha-Strahlen aus.

Radiouran.

Das Radiouran ist als Zwischenprodukt zwischen Uran und Uran X aufzufassen (D a n n e). Es wurde bei der Darstellung von Uran X aus Urannitrat in einer von dem Uran X abfiltrierten Lösung aufgefunden, aus der beim Eindampfen ein aktiver Rückstand zurückblieb. Die Aktivität, die zunächst halb so groß war wie die des gleichen Gewichts des Uran, stieg nach mehreren Monaten auf den zehnfachen Betrag, indem Uran X gebildet wurde. Dieses neugebildete Uran X kann man von der Muttersubstanz, die den Namen Radiouran erhielt, trennen, und zwar immer wieder nach einer gewissen Zeit, innerhalb deren das Uran X bis zum Gleichgewichtszustande neugebildet wird.

Die Darstellung des Radiouran in dem zur Feststellung seiner Eigenschaften, Lebensdauer usw. genügenden Reinheitsgrade ist noch nicht gelungen, nur ist nach den bisherigen Untersuchungen anzunehmen, daß die mittlere Lebensdauer des Radiourans bedeutend größer sein muß als die des Uran X, und daß es nur Beta-Strahlen aussendet.

Uran X.

Bei der Behandlung einer Uransalzlösung mit Ammoniumcarbonat im Ueberschuß konnte C r o o k e s einen unlöslichen Rückstand abscheiden, der das Uran X enthielt, durch Fällen mit Baryumsulfat konnte B e c q u e r e l das Uran X abscheiden (Methode von D e b i e r n e zur Aktiniumdarstellung). Ferner wird das Uran X beim Kochen einer Lösung von Urannitrat mit Ruß oder Tierkohle von diesen Substanzen adsorbiert und kann durch Glühen mit Ammoniumnitrat gewonnen werden. Ebenso führen die Methoden von H e ß und S z i l a r d zum Ziel.

Seiner chemischen Natur nach gehört das Uran X wahrscheinlich zur Gruppe des Eisens, das es auch bei der Abscheidung aus unreinen Uransalzen begleitet.

Das Uran X emittiert Beta- und Gamma-Strahlen und hat eine Halbwertszeit von ca. 24,6 Tagen.

Ionium.

Bei den Versuchen über die Entstehung von Radium aus Uran fanden Rutherford und Boltwood das Ionium auf, nachdem sie seine Existenz bereits hypothetisch vorausgesagt haben. Der erste Bericht findet sich in der Phys. Zeitschrift 1906 Nr. 7.

Boltwood wies nach, daß die Muttersubstanz des Radiums vom Aktinium, dessen Verwandtschaftsgrad zur Radiumgruppe bereits besprochen wurde, durch Fällen einer gemeinschaftlichen Lösung mit Natriumthiosulfat getrennt werden kann, wobei das Aktinium in Lösung bleibt, während im Niederschlag sich das Ionium vorfindet.

Hahn wies nach, daß dieses unmittelbar dem Radium vorausgehende Element in den käuflichen Thoriumsalzen vorkommt; jedenfalls ist es in den thoriumhaltigen Mineralien in Begleitung des Urans aufzufinden.

In chemischer Hinsicht steht das Ionium besonders dem Thorium nahe, ebenso dem Uran X. Infolge dieser Verwandtschaft ist es bisher nicht gelungen, das Ionium von dem Thorium zu trennen.

Das Ionium sendet Alpha-Strahlen aus und zerfällt in Radium.

Radium.

Die Darstellung des Radiums aus Pechblende, Autunit, Carnotit usw. führt immer zu radiumhaltigem Baryumchlorid, aus dem das Radium in Form des salzsauren Salzes mittels fraktionierter Kristallisation abgeschieden wird. Reines metallisches Radium wurde auf elektrolytischem Wege von Frau Curie im Jahre 1911 dargestellt (siehe Seite 31). Es hat ein Atomgewicht von 226,5 und ist ein zweiwertiges Element aus der Gruppe der Erdalkalien. Die Halbwertszeit beträgt ca. 2000 Jahre.

Im Handel befinden sich in der Regel nicht die reinen Radiumsalze, sondern die entsprechenden Baryumsalze, die 1 bis 5 % Radiumsalze enthalten; meist handelt es sich um das Chlorid, das Bromid, das Nitrat, das Karbonat und das Sulfat.

In chemischer Hinsicht steht das Radium dem Baryum sehr nahe, so daß die Trennung dieser beiden Elemente nur mittels komplizierter chemischer Methoden gelingt; die Verwandtschaft zwischen den beiden Elementen wird auch durch ihre Stellung im periodischen System der Elemente gekennzeichnet.

Die Salze beider Elemente kristallisieren zusammen in jedem Verhältnis, allerdings sind die Radiumsalze schwerer löslich als die Baryumsalze. Die Bromide sind isomorph und kristallisieren nach dem monoklinen System (R ü n n e) wahrscheinlich unter Aufnahme von zwei Molekülen Kristallwasser. Das Radiumchlorid und -bromid sind unlöslich in konzentrierten Säuren und in absolutem Alkohol. Das Radiumnitrat ist in Wasser löslich, das Sulfat in Wasser und Säuren unlöslich, das Karbonat in Wasser unlöslich. Schwefelwasserstoff fällt in saurer, Schwefelammonium in alkalischer Lösung des Radium nicht aus.

Die Radiumsalze nehmen bei Belichtung sowie in wachsender Aktivität eine gelbliche Färbung an. Sie senden spontan Licht aus und leuchten deshalb im Dunkeln, besonders die Haloidsalze. Auch entwickeln sie spontan und kontinuierlich Wärme, so daß ihre Temperatur stets höher ist als die der Umgebung. Die Aktivität, gekennzeichnet durch die Aussendung spezifischer Strahlen, nimmt von dem Augenblick der Ueberführung der Salze in feste Form bis zu einem konstanten Wert zu, der in etwa einem Monat erreicht wird.

Vermöge ihrer Strahlung rufen die Radiumsalze auf dem Baryumplatinzyanürschirm, dem Zinksulfid, besonders präpariertem Calciumsulfid, der Sidotblende usw. die Erscheinung einer gelblichgrünen Phosphoreszenz hervor. Sie färben die nicht leuchtende Bunsenflamme karminrot. Das Radium hat ein eigenes Spektrum mit charakteristischen Linien in Grün, Blau und Ultraviolett und einigen Banden (D e m a r ç a y, R u n g e u n d B r e c h t, E x n e r u n d H a s c h e k).

Das Radiumchlorid entwickelt Oxyde des Chlors, das Bromid setzt Brom in Freiheit; die Lösungen entbinden beständig Gas, zum größten Teil Knallgas. Der umgebende Sauerstoff wird z. T. zu Ozon aktiviert.

Aus den Lösungen der Radiumsalze entwickelt sich beständig Helium (Rutherford).

Des ferneren geben die Radiumverbindungen beständig Emanation ab, die ihrerseits radioaktiv ist und als ideales Gas bezeichnet werden muß.

Auf die photographische Platte wirkt das Radium durch Zersetzung der Silbersalze ein. Indes sind die Silbersalze nicht die einzigen Chemikalien, auf die das Radium einwirkt, vielmehr reagiert eine ganze Reihe chemischer Körper auf die Radiumbestrahlung, speziell mit einer Farbenänderung (Dölter, Miethe); so wird z. B. Aluminiumhydroxyd blau, rotgelbes Arsensulfür karminrot, Rotspießglanz grau, Quarz gelb bis rotbraun, Amethyst dunkelviolett, farblose Diamanten bläulich oder bräunlich, Saphire gelblich gefärbt. Auch Porzellan und Glas werden unter der Einwirkung der Radiumstrahlen gefärbt und zwar je nach der Art des umgebenden Gases oder Gasgemisches in verschiedener Tönung. Ebenso nehmen viele Salze, z. B. die Salze und Doppelsalze der Alkalien, durch Radiumstrahlen Färbungen an, die vielleicht mit molekularen Umlagerungen in Zusammenhang stehen.

Das Wasser wird durch Radiumsalze wie auch durch starke Emanation in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt; ebenso wird umgekehrt aus einem Gemisch von Wasserstoff- und Sauerstoffgas bei Anwesenheit von Radiumsalzen oder Emanation Wasser gebildet (Edwards und Davis). Auch Chlor und Wasserstoffgas wird nach den Mitteilungen von Jorissen und Ringer durch Radium in Chlorwasserstoff übergeführt. Auch dieser Prozeß ist umkehrbar, indem sich aus einer wässerigen Lösung, die Radium- und Chlorionen enthält, freies Chlor entwickelt, ebenso wie sich aus Radiumbromid unter gleichen Umständen freies Brom bildet.

Ebenso wie durch Radiumsalze wird der Sauerstoff nach Curie auch durch Emanation sowohl des Radiums wie des Aktiniums aktiviert und in Ozon übergeführt, und zwar verläuft diese Reaktion umso lebhafter, je stärker die Emanation ist.

Weißer Phosphor wird in die rote Modifikation verwandelt, organische Substanzen werden durch kräftige Emanation unter

Kohlensäureentwicklung oxydiert. Blaues Lakmuspapier wird durch Radiumstrahlen gerötet. Jodwasserstoffsäure und Bromwasserstoffsäure unter Jod- bezw. Bromabspaltung zerstört (Pellini und Vaccari bezw. Kailan). Cameron und Ramsay berichten, daß durch starke Radiumemanation Kohlensäure in Sauerstoff und Kohlenoxyd und letzteres weiterhin in Kohlenstoff und Sauerstoff zerlegt und umgekehrt aus diesen Gasen wieder Ammoniak gebildet werden kann, in gleicher Weise wie diese Reaktion zwischen Chlor und Wasserstoff usw. verläuft.

Chlorophyll wird durch Radium zerstört, Blumen- und Pflanzenblätter welken und verdorren. Orlow ließ auf verschiedene Substanzen, wie Paraffin, Ceresin, Spermaceti, Bienenwachs, japanisches Wachs, Palmitinsäure, Stearinsäure usw. in geschlossenen Gefäßen Radiumstrahlen einwirken und konstatierte, daß diese Stoffe an Gewicht verloren, anderseits die Kohlensäure im Innern des Gefäßes entsprechend der aufgespaltenen Menge der genannten Stoffe zunahm.

Außer den angeführten Reaktionen ist noch eine große Zahl weiterer chemischer Prozesse bekannt, die sich unter der Einwirkung von Radiumstrahlen oder Emanation im anorganischen oder organischen Gebiete abspielen. Vorwiegend sind derartige Prozesse destruierender Art, bestehend in einem Abbau, in einer Spaltung der mit Radium behandelten Objekte. Auf gewisse Körper wirken die Radiumstrahlen mit elektiver Heftigkeit ein, z. B. auf Jodverbindungen organischer und anorganischer Natur; in dieser Hinsicht zeigt sich eine gewisse Aehnlichkeit der Radiumstrahlen mit den gewöhnlichen Lichtstrahlen. Andere Substanzen wiederum verhalten sich gegen die Einwirkung von Radium völlig indifferent.

An dieser Stelle interessieren uns vornehmlich die Beobachtungen, die über das Verhalten des Radiums, seiner Strahlen wie seiner Emanation gegenüber medizinisch angewandten Stoffen, vor allem gegenüber den Bestandteilen des Körpergewebes oder, allgemeiner gesprochen, gegenüber den ins Bereich der physiologischen Chemie und Biologie gehörigen Materialien angestellt worden sind. Wir kommen auf dieses Gebiet in besonderen Kapiteln zu sprechen.

Ebenso wird über die Erscheinungen der Radioaktivität, soweit dieselben medizinisches Interesse bieten, in einem besonderen Kapitel gehandelt werden.

Radiumemanation.

Eine der hervorstechendsten Eigenschaften des Radiums bezw. seiner Salze ist die kontinuierliche Abgabe von Emanation, die wir als ein typisches Gas ansprechen müssen. Die ersten Beobachtungen über Emanation wurden von Rutherford angestellt, der analog den Beobachtungen von Owens wahrnahm, daß der die Intensität der Radioaktivität eines Thoriumpräparates angebende elektrische Strom durch Zuführung eines Luftstromes stark reduziert wird, und daraus schloß, daß die Thoriumverbindungen ein radioaktives Gas abgeben, das durch den Luftstrom fortgeführt wird.

Dorn hat 1900 dieselbe Wahrnehmung mit einem radiumhaltigen Baryumsalz machen können, und endlich hat Giesel auf ähnliche Weise sein Emanium, identisch mit Aktinium bezw. Aktiniumemanation, aufgefunden.

Die chemische Natur der Emanation ist von ihrem Entdecker Rutherford, von dem sie auch den Namen erhalten hat, sogleich richtig erkannt worden, indem er die Emanation als ein materielles Gas auffaßte. Diese Auffassung ist durch die in der Folgezeit angestellten Untersuchungen bestätigt worden, so ist es gelungen, das charakteristische Spektrum der Emanation zu beobachten, das Volumen zu messen, die Emanation zu verflüssigen, kurzum einwandfrei festzustellen, daß die Emanation in der Tat zu den typischen Gasen gehört.

Die Radiumemanation entwickelt sich beständig aus dem Radium und ist ihrerseits wieder radioaktiv, d. h. sie sendet Alpha-Strahlen aus; hierbei verwandelt sie sich in Körper mit niedrigerem Atomgewicht. Auf gewissen festen Körpern schlagen sich die Umwandlungsprodukte als radioaktive Masse nieder, die sich von der Oberfläche abreiben bezw. ablösen und chemisch analysieren läßt und als ein Gemisch von Zerfallsprodukten, nämlich Radium A, B, C usw. bis Radium G erweist.

Das Molekulargewicht (gleich dem Atomgewicht) der Radiumemanation beträgt 222,5; in 3,85 Tagen zerfällt die Radiumemanation um die Hälfte (Zerfallsperiode oder Halbwertszeit).

Während die Radiumemanation sich aus den festen radiumhaltigen Verbindungen nur in geringer Menge entwickelt, in größerer erst bei höheren Temperaturen (400 bis 500 Grad), geben die Lösungen von Radiumsalzen die Emanation bereits in der Kälte leicht ab, noch leichter beim Erwärmen. Schütteln der Lösungen beschleunigt ebenfalls die Abgabe der Emanation, eine Tatsache, die bei den Messungen eine fundamentale Rolle spielt.

Leichter entwickelt sich die Emanation des Thoriums und des Aktiniums aus den festen Muttersubstanzen bezw. ihren Lösungen.

Die drei Emanationsgattungen zeichnen hinsichtlich ihres chemischen und physikalischen Verhaltens große Aehnlichkeit miteinander. Sie gehören zu den echten Gasen, sind also bei gewöhnlicher Temperatur durch keinen noch so hohen Druck zu verflüssigen, ihre kritische Temperatur liegt unter Null.

Die Emanation des Radiums ist beständiger als die des Thoriums und des Aktiniums.

Die wesentlichste Eigenschaft der Emanation ist ihre Radioaktivität, d. h. die Fähigkeit, Strahlen auszusenden und die Luft zu ionisieren und sie auf diese Weise für den elektrischen Strom leitfähig zu machen.

In Wasser und mehreren anderen Flüssigkeiten ist die Emanation löslich, wird aber beim Schütteln oder beim Durchleiten eines Luftstromes sowie beim Erhitzen leicht abgegeben. Ihr Löslichkeitskoeffizient hängt von der Art der Flüssigkeit, dem Gehalt einer Salzlösung an Molekülen, von der Temperatur, dem Druck, kurzum von all denjenigen Faktoren ab, von denen die Löslichkeit aller vollkommenen Gase beinflußt wird.

Von gewissen festen Körpern, wie Holzkohle, Platinmoor, Zelluloid, Kautschuk usw., wird die Emanation bis zu einem gewissen Grade absorbiert.

Bei einer Temperatur von — 155 Grad geht die Radiumemanation in flüssigen Zustand über (Rutherford).

Ladet man einen Metallfaden negativ elektrisch und bringt ihn einige Stunden in emanationshaltige Luft, so gibt er alsdann Strahlen ab, deren Intensität elektrometrisch gemessen werden kann. Diese Strahlen rühren von der induzierten Radioaktivität her, von dem aktiven Niederschlag, in den sich die Emanation verwandelt hat. Die einzelnen Bestandteile dieses Niederschlags, der sich als ein Gemisch der weiteren Zerfallsprodukte der Emanation darstellt, hat man isoliert, indem man den Niederschlag in starker Mineralsäure löste und die Lösung analysierte. Es hat sich herausgestellt, daß diese Derivate der Emanation Radium A, B, C und D nach einem charakteristischen Exponentialgesetz zerfallen; danach beträgt die Halbwertszeit des Radium A 3 Minuten, des Radium B 27 Minuten, des Radium C 20 Minuten. Diese drei Körper senden ebenfalls Strahlen aus, und zwar das Radium A Alpha-Strahlen, das Radium B Beta-Strahlen und das Radium C Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlen.

Nach dem Abklingen der Aktivität des aus Radium A, B und C zusammengesetzten induzierten Niederschlages bleibt noch einen Aktivitätsrest zurück, der nach Rutherford von einer komplexen, aus mehreren radioaktiven Substanzen bestehenden Materie ausgeht. Die Intensität der Aktivität nimmt nach und nach bis zu einem gewissen Grenzwert zu.

Die Untersuchungen dieses Aktivitätsrestes hat ergeben, daß hauptsächlich drei Zerfallsprodukte vorliegen, denen man die Bezeichnung Radium D, E und F gegeben hat.

Das Radium D ist ein dem Blei ähnlicher Körper, von dem Rutherford annimmt, daß es das Blei bei dem Abscheidungsprozeß aus der Pechblende begleitet und ihm die Radioaktivität verleiht, die zu der Absonderung eines besonderen aktiven Bleies, des Radiobleies, geführt hat, während es in Wirklichkeit ein an sich aktives Blei nicht gibt.

Das Radium D scheint nicht aktiv zu sein, wohl aber zerfällt es in die Produkte E und F, von denen letzteres Alpha-Strahlen aussendet. Die Trennung des Radium D von den weiteren Zerfallsprodukten geschieht durch Ueberführen von radioaktivem Bleichlorid in Bleitetraphenyl, dessen Kristalle fast frei von Radium D sind. Für praktische Zwecke ist die Fällung mit Baryumsulfat, das das Radium D mitreißt, während Radium E

und Radium F in Lösung bleiben, vorzuziehen. Die Halbwertszeit des Radium D beträgt 15 Jahre.

Meyer und v. Schweidler haben das Radium E studiert und sind zu der Ansicht gekommen, daß zwischen dem Radium D und Radium F nicht eine, sondern zwei Substanzen liegen müßten, die man mit Radium E_1 und Radium E_2 bezeichnet. Ersteres ist ein fester Körper, der bei Rotglut flüchtig, in heißer Essigsäure löslich ist und Strahlen nicht aussendet; seine Zerfallsperiode beträgt 6 bis 6,5 Tage.

Das Radium E_2 ist weder bei Rotglut flüchtig, noch in heißer Essigsäure löslich, sendet Beta-Strahlen aus und zerfällt in 4,8 Tagen zur Hälfte.

Im Uebrigen ist die Existenz von Radium E_1 und E_2 von anderer Seite bestritten worden.

Das Radium F endlich wird für identisch mit dem von Frau Curie gefundenen Polonium und mit dem von Marckwald entdeckten Radiotellur gehalten. Es ist eines der letzten Zerfallsprodukte des Radiums bezw. der Radiumemanation bezw. des radioaktiven Niederschlages, emittiert Alpha-Strahlen sowie langsame Elektronen und hat eine Zerfallsperiode von 140 Tagen.

Das Polonium ist von Curie aus den Sulfiden isoliert worden, die aus der sauren Lösung der Uranrückstände mit Schwefelwasserstoff ausgefällt werden. Zur Darstellung des Poloniums in konzentrierterer Form sublimierte Curie die Sulfide im Vakuum, wobei das aktive Sulfid sich zuerst verflüchtigt; durch fraktionierte Fällung der salzsauren Lösung mit Schwefelwasserstoff und der salpetersauren Lösung mit Wasser wird derselbe Zweck erreicht.

Marckwald untersuchte die in dem Wismutoxychlorid enthaltene Aktivität, das er aus der Pechblende dargestellt hatte. Es gelang ihm, von dem Wismut die aktive Substanz zu trennen, und er bezeichnete sie mit Radiotellur. Da das Gesetz, nach dem die Aktivität des Poloniums abnimmt, das gleiche ist, nach welchem die Radioakitvität des Radiotellurs allmählich verschwindet, so ist nach Curie die Identität beider bewiesen.

Alle diese Zerfallsprodukte der Emanation geben bestimmte Reaktionen, die aber ohne medizinische Bedeutung sind, es erübrigt sich daher, an dieser Stelle des Genaueren auf diese Körper und ihr Verhalten einzugehen.

Thorium.

In den meisten radioaktiven Mineralien findet sich außer dem Uran und seinen Derivaten auch das Thorium und seine Zerfallsprodukte. Es wurde zuerst (1828) von Berzelius, der es auch entdeckte, in reinem Zustande dargestellt.

Das Thorium ist ein vierwertiges Element vom Atomgewicht 232,5, kristallisiert in kleinen sechsseitigen Tafeln, die eine graue Farbe zeigen; das spezifische Gewicht beträgt 11.

Eine besonders auffallende Eigenschaft ist die außerordentlich geringe spezifische Wärme. Mit spezifischer Wärme bezeichnet man diejenige relative Wärmemenge, die erforderlich ist, um die Gewichtseinheit verschiedener Körper um den gleichen Temperaturunterschied zu erwärmen. So braucht man, um 1 Kilo Quecksilber von 0 Grad auf 100 Grad zu erwärmen, etwa 30 mal so viel Wärme, als man braucht, um die gleiche Erwärmung bei 1 Kilo Wasser zu erzielen; diese Wärmemenge würde genügen, um etwa 40 Kilo metallisches Thorium von 0 Grad auf 100 Grad zu erhitzen.

Erhitzt man Thoriummetall oder ein Thoriumsalz bis zum Glühen, so oxydiert es sich zu Thoriumoxyd ThO_2, einem weißen, amorphen Pulver, das die Fähigkeit besitzt, auf seiner Oberfläche Gase zu kondensieren. Es kristallisiert in regulären Würfeloktaedern. Das spezifische Gewicht beträgt 10,2. Das Thoriumoxyd ist in Säuren unlöslich, löslich dagegen in einer Lösung von Thoriumchlorid oder Thoriumhydrat, und zwar in kolloidaler Form.

Dagegen ist das Thoriumhydroxyd eine kräftige Base, die mit starken Säuren Salze bildet; diese Salze, soweit sie Mineralsäure-Radikale enthalten, sind bei 0 Grad beständig, zersetzen (oder polymerisieren?) sich dagegen beim Erwärmen ihre Lösungen, wobei unlösliche Niederschläge ausfallen.

Oxalsäure fällt aus sauren Thorlösungen das oxalsaure Salz, dieses ist in neutralem oxalsaurem Ammoniak löslich und geht durch Zusatz von Kalilauge in unlösliches Hydroxyd über, das, wie schon bemerkt, in Säuren leicht löslich ist.

Durch Eintragen von Thoriumhydroxyd in kalte Salpetersäure wird das Thoriumnitrat $Th(NO_3)_4 + 6H_2O$ gewonnen, das in charakteristischen Doppelpyramiden kristallisiert.

Das Thoriumsulfat $Th(SO_4)_2$ existiert in einer wasserfreien, wasserlöslichen Form und in einer kristallwasserhaltigen Form, die sich beim Erwärmen der Lösung des wasserfreien Salzes ausscheidet.

Die Tatsache, daß das Thorium Emanation abgibt, wurde von Rutherford und Soddy entdeckt, und zwar noch ehe die Radiumemanation bekannt war.

Das Thorium besitzt eine dauernde Aktivität, es ist schwach radioaktiv, und zwar stehen die im Thorium und seinen Verbindungen emittierten Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlen in einem anderen quantitativen Verhältnis als die Strahlen des Urans, während die Intensität der Strahlungen etwa gleich ist.

Die mittlere Lebensdauer schätzt man auf etwa 10 Milliarden Jahre.

Mesothorium.

Die Thoriumsalze zeigen eine je nach ihrem Alter verschiedene Aktivität. Zunächst vermindert sich die Aktivität im Laufe von etwa drei Jahren bis zu einem Minimum, von dem aus sie nach einiger Zeit langsam ansteigt. Da nun das von Hahn aufgefundene Radiothorium eine bestimmte Aktivität zeigt, so lag der Schluß nahe, daß zwischen dem Thorium und Radiothorium eine fast inaktive Substanz von langer Lebensdauer liegt, die als Mesothorium bezeichnet wurde. Die Entwicklungsreihe lautet also Thorium, Mesothorium und Radiothorium, und das Absinken der Aktivität, wie es von Hahn bei den Thoriumsalzen beobachtet wurde, erklärt sich aus der Störung des Gleichgewichts zwischen diesen drei Elementen durch Abscheidung des Mesothoriums, wodurch weniger Radiothorium gebildet wird und sich demzufolge die Aktivität vermindert. Die Aktivität steigt wieder an entsprechend der Menge Mesothorium,

die aus dem Thorium allmählich wieder gebildet wird, wobei ja auch das Radiothorium sich wieder vermehrt.

Hahn hat auch erkannt, daß das Mesothorium nicht eine einheitliche Substanz ist, sondern daß sich durch bestimmte chemische Prozeduren eine inaktive, sehr langlebige Substanz (Halbwertszeit gleich ca. 5,5 Jahre) von einem zweiten betastrahlenden Anteil trennen läßt, dessen Zerfallsperiode 6,2 Stunden beträgt. Man hat diese beiden Substanzen mit Mesothorium I und Mesothorium II bezeichnet.

In seinem chemischen Verhalten ähnelt das Mesothorium sehr dem Radium, wie denn auch beide Elemente sich in der Natur vergesellschaftet vorfinden.

Zur Gewinnung von größeren Mengen benutzt die Technik die bei der Herstellung des Thoriums sich ergebenden Rückstände oder auch direkt den Monazitsand, den man zur Entfernung von kiesigen Bestandteilen mit Flußsäure behandelt. Zu wissenschaftlichen Forschungen kann man auch den Thorianit als Muttersubstanz benutzen, von dem auch Hahn bei seinen Arbeiten ausging.

Das Mesothorium wird nicht nach Gewicht gehandelt, sondern nach der Strahlungsstärke und zwar tut man das, um Vergleichswerte mit dem Radium zu erhalten. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß das Mesothorium I eine Zerfallsperiode von 5,5 Jahren und das Radium eine solche von 1800 Jahren hat und daß das folgende Gesetz gilt: Die Zerfallsperioden gleicher Gewichtsmengen verschiedener radioaktiver Substanzen verhalten sich umgekehrt wie ihre Strahlungenergie. Es ergibt sich somit, daß 1 mg Mesothor an Aktivität ca. 300 mg Radium gleichkommt. Das im Handel befindliche Mesothorium enthält zu einem Viertel der Gewichtsmenge Radiumbromid. Es sind also in 100 mg technischem Mesothorium etwa 0,25 mg Mesothor und 25 mg Radiumbromid, der Rest ist Corpus sine anima. An Strahlungsintensität entsprechen nun aber die 0,25 mg Mesothorium 75 mg Radiumbromid, so daß in dem angeführten Beispiel eine Aktivität von 100 mg reinem Radiumbromid erreicht wird.

Die Aktivität des Mesothoriums wird durch den Radiumgehalt beeinflußt: es nimmt die Aktivität frisch hergestellter Präparate zunächst zu, bis nach etwa 3,2 Jahren das Maximum,

nämlich das 1½fache der ursprünglichen Radioaktivität erreicht wird (Hahn); alsdann sinkt die Aktivitätskurve langsam ab, steht aber noch nach 10 Jahren über der Anfangsaktivität, während die Aktivität nach 20 Jahren etwa die Hälfte der ursprünglichen beträgt. Nach vollständigem Zerfall des Mesothoriums bleiben die 25 Prozent Radium übrig.

Hahn hat Versuche angestellt, um das technische Mesothorium von dem begleitenden Radium zu trennen; indes ist es ihm nicht gelungen, über das Verhältnis des in einem Präparat enthaltenen Mesothoriums zu dem begleitenden Radium von 3 : 1 Strahlungsintensität hinauszukommen.

Es ist klar, daß die untrennbare Beimengung von Radium das gesamte radioaktive Verhalten des technisch hergestellten und in der Medizin verwendeten Mesothoriums beeinflußt; wir werden auf diesen Punkt noch zu sprechen kommen.

Radiothorium.

Bei der Verarbeitung von Thorianit bemerkte Hahn, daß im Laufe der fraktionierten Kristallisation die Aktivität nicht nur in den weniger löslichen Kristallen anwuchs, sondern auch in den löslichen Salzen, eine Erscheinung, die sonst bei der Darstellung des Radiums nicht wahrgenommen wurde. Die in den löslichen Salzen angehäufte Aktivität konnte also nicht von Radium herrühren, und Hahn suchte und fand eine geringe Menge einer Substanz, die 500 000 mal so viel Emanation abgab als eine gleiche Gewichtsmenge Thorium und sich durch seine Fällbarkeit mittels Ammoniak als zur Eisengruppe gehörig erwies.

Blanc hat das Radiothorium im Quellsinter von Echaillon und Salins-Moutiers aufgefunden, ferner auch aus der Lösung von käuflichem Thorhydrat mittels Baryumsulfat ausgeschieden und isoliert.

Ebenso haben Elster und Geitel in den Quellniederschlägen von Baden-Baden das Radiothorium gefunden.

Das Radiothorium ist eine hochaktive Substanz mit einer Zerfallsperiode von zwei Jahren und dem Charakter einwertiger Metalle; es emittiert Alpha-Strahlen und zerfällt in Thorium X.

Thorium X.

Das Thorium X wird durch Behandeln der Lösung eines Thoriumsalzes mit Ammoniak gewonnen; es verbleibt in der ammoniakalischen Lösung. Rutherford und Soddy haben gefunden, daß das Thorium X in den Thoriumsalzen beständig gebildet wird und daß die Thoriumsalze eine dem Gleichgewichtszustande entsprechende Menge enthalten, d. h. eine so große Menge, daß der beim weiteren Zerfall entstehende Verlust durch die Neubildung ausgeglichen wird.

Die Aktivität des Thorium X nimmt vom Augenblicke der Darstellung an anfänglich zu, bis sie nach etwa 24 Stunden ein Maximum erreicht hat und dann abzusinken beginnt. Die Halbwertsperiode beträgt 3,6 Tage. Es werden Alpha- und Beta-Strahlen emittiert. Thorium X ist löslich in Wasser und Ammoniak.

Das chemische Verhalten bei der Elektrolyse wie bei der Kristallisation läßt nicht mit Sicherheit entscheiden, ob das Thorium X zu den Alkalien oder zu den Erdalkalien gehört.

Thoriumemanation.

Die Thoriumemanation wurde im Jahre 1900 von Rutherford entdeckt als die erste der radioaktiven Emanationen. Sie zeigt im allgemeinen ähnliche Eigenschaften wie die Radiumemanation, ist aber von viel kürzerer Lebensdauer, indem sie bereits nach 54 Sekunden zur Hälfte zerfällt. Sie gehört zu den Alpha-Strahlern.

Bei einer Temperatur von — 150° geht sie in flüssigen Zustand über, indes kann man die Temperatur um volle 30° steigern, ohne daß der Vorgang der Verdichtung aufhört. Die Verdichtungstemperatur liegt also bei — 120° bis — 150°, während die Verdichtung der Radiumemanation ganz plötzlich und zwar präzise bei — 155° erfolgt.

Durch eine Reihe chemischer Experimente wurde der Nachweis geliefert, daß die Thoriumemanation ebenso wie die Radiumemanation als Gase zu betrachten sind, die keine chemischen Affinitäten besitzen, und daß man ihre Moleküle als einatomig

betrachten kann; sie sind zu den Edelgasen zu rechnen. Das Molekulargewicht = Atomgewicht beträgt 220,5.

Die Thoriumemanation erzeugt ebenso wie die Radium- und Aktiniumemanation auf Metall, Papier, Glas usw. einen aktiven Niederschlag, der analog den für Radium gültigen Verhältnissen aus Thorium A, B, C und D zusammengesetzt ist. Es gilt das Gesetz, daß die Intensität der induzierten Radioaktivität als proportional der vorhandenen Emanationsmenge betrachtet werden kann, daß sie ferner mit der Expositionszeit zunimmt und beim Thorium nach etwa 4 Tagen einen maximalen Grenzwert erreicht. Entfernt man den emanierenden Körper, so beginnt die induzierte Aktivität nach bestimmten Gesetzen, die namentlich Rutherford untersucht hat, abzunehmen.

Das Thorium A ist ein Beta-Strahler; seine Zerfallsperiode beträgt 11 Stunden. Die Intensität der Strahlung ist nur gering; sie wächst mit dem Zerfall des Thorium A und des Thorium B, das zu den Alpha-Strahlern gehört. Die Uebergangszeit von Thorium A in Thorium B beträgt 55 Minuten.

Hahn analysierte die Alphastrahlen des radioaktiven Thorium-Niederschlags und erhielt eine Ionisationskurve, die die Gegenwart zweier verschiedener Gruppen von Alpha-Strahlen deutlich erkennen läßt. Hahn folgerte daraus, daß das Thorium B nicht eine einheitliche Substanz ist, sondern daß jeder Alphastrahlengruppe ein spezielles Element entspricht, welche beiden er mit Thorium B und Thorium C bezeichnet. Die Trennung dieser beiden Substanzen gelang nicht. Das Thorium C dürfte demnach eine Lebensdauer von nur einigen Sekunden haben. Es sendet Alphastrahlen aus, die durch die größere Reichweite von den Alphastrahlen des Thorium B unterschieden sind.

Bei dem Versuche, das Thorium C mit Hilfe eines elektrischen Feldes zu isolieren, gelangten Hahn und Meidner zu einer Substanz, die durchdringende Strahlen, also Beta- und Gamma-Strahlen, aussendet und eine Zerfallsperiode von 3,1 Minuten hat. Man erhält dieselbe Substanz — das Thorium D — durch Ausfällen mit Schwefelwasserstoff oder Niederreißen mit Tierkohle aus der Lösung des Thoriumniederschlages.

Aktinium.

Fällt man aus der Lösung uranhaltiger Mineralien das Baryum mit Schwefelsäure, so findet sich im Niederschlage auch das Aktinium. Mittels komplizierter chemischer Methoden, die besonders von dem Entdecker des Aktiniums Debierne ausgearbeitet worden sind, gelingt es, das Aktinium zu konzentrieren und zu reinigen, indessen ist es noch nicht möglich gewesen, dieses Element in reinem Zustande zu isolieren, so daß auch einige wichtige chemische und physikalische Eigenschaften, z. B. die Eigenart seines Spektrums, seiner Lebensdauer usw. noch nicht erforscht werden konnten und demgemäß auch seine biologischen und physiologischen Wirkungen, soweit sie nicht durch Analogieschlüsse theoretisch zu erkennen sind, im wesentlichen noch unbekannt sind. Immerhin sind die Eigenschaften, deren Kenntnis die Voraussetzung für die Möglichkeit einer medizinischen Anwendung ist, auch an dem unreinen Präparat bezw. seinen Derivaten soweit studiert worden, daß von einigen Autoren ein aktiniumhaltiges Präparat zu experimentellen und klinischen Untersuchungen besonders bei Geschwülsten und bei Blutkrankheiten hat verwendet werden können.

Die wichtigste hierfür in Betracht kommende Eigenschaft ist die permanente Aktivität. Das Aktinium sendet nach Debierne absorbierbare und durchdringende Strahlen aus und erzeugt auch eine Emanation, mithin auch einen aktiven Niederschlag, der nach einem spezifischen Gesetz zerfällt.

In chemischer Hinsicht verhält sich das Aktinium dem Cer und Lanthan ähnlich, Elemente, die es auch bei der Herstellung aus der Pechblende begleitet.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß eine Beziehung zwischen Uran und Aktinium wahrscheinlich ist und daß das Aktinium anscheinend zu einer der Ionium-Radiumfamilie koordinierten Gruppe von Elementen gehört, deren gemeinsame Muttersubstanz vielleicht das Uran ist. Soddy und Mackenzie haben gemäß dieser Anschauung versucht, die Entstehung von Aktinium auf Uran nachzuprüfen, ohne daß diese Versuche bisher zum Ziele geführt hätten.

Das Aktinium sendet Alpha-, Beta- und Gammastrahlen aus.

Radioaktinium.

Die Beobachtung der Aktivitätskurve des Aktiniums führte Hahn zu der Vermutung, daß zwischen dem Aktinium und dem zweitnächsten Zerfallsprodukt, dem Aktinium X, eine intermediäre Substanz gelegen sei, und es gelang ihm, dieses Zwischenprodukt soweit zu isolieren, daß er seine Eigenart erkennen konnte; er nannte es Radioaktinium. Eine teilweise Scheidung des Radioaktiniums vom Radium läßt sich mittels fraktionierter Fällung durch Ammoniak sowie durch Fällung der salzsauren Aktiniumlösung mit Natriumsulfat oder Schwefelwasserstoff (Levin) erreichen.

Das Radioaktinium steht chemisch den Erdalkalien nach. Seine Zerfallsperiode beträgt nach Hahn 19,5 Tage, nach Levin 20 Tage. Es sendet Alpha- und Betastrahlen aus in einer der Bildung von Aktinium X und dessen Zerfallsprodukten entsprechenden Kurve, wobei das Maximum in 17 Tagen erhalten wird.

Da bei diesen Experimenten das Aktinium in einem fast inaktiven Zustande erhalten werden kann, liegt die Möglichkeit vor, daß das Aktinium an sich überhaupt keine Strahlen aussendet, sondern daß vielmehr die Strahlen von den Zerfallsprodukten herrühren.

Aktinium X.

Während Giesel die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Emaniums, das mit Aktinium identisch ist, untersuchte und durch Fällung einer Aktiniumlösung mit Ammoniak in der ammoniakalischen Lösung das von ihm so bezeichnete Emanium X fand, kam Godlewski beim Experimentieren mit Aktinium zu demselben Resultat und nannte die vom Aktinium getrennte aktive Substanz, die in Ammoniak löslich ist, Aktinium X. Derselbe Autor fand, daß dieses Element Emanation abgibt und daß die Emanation analog der des Radiums und des Thoriums einen aktiven Niederschlag bildet. Aktinium X ist ein Alpha-Strahler mit einer Halbwertszeit von 10,5 Tagen.

Aktiniumemanation.

Die Abgabe der Emanation erfolgt von festen aktiniumhaltigen Erden ebenso leicht wie von Lösungen. Ein über diese

Substanz streichender Luftstrom führt einen beträchtlichen Teil der Emanation fort, und es zeigt sich, daß diese ganz ähnliche Eigenschaften hat wie die Radium- und Thoriumemanation, allerdings mit dem Unterschied, daß die Halbwertszeit nur 4 Sekunden beträgt. Im übrigen hat Debierne gezeigt, daß aus Aktiniumlösungen sich noch eine zweite Emanation entwickelt, die mit Radiumemanation identisch ist. Falls diese Emanation nicht von begleitendem Radium ausgeht, wäre durch diese Beobachtung wiederum ein deutlicher Beweis für die genetische Verwandtschaft des Aktiniums mit der Radiumgruppe gegeben.

Die Emanation des Aktiniums ist ein vollkommenes Gas, dessen Verdichtung Goldstein und Henriot bei einer Temperatur von ca. — 140° gelungen ist. Dieser Temperaturgrad ist nicht präzise, vielmehr ist ebenso wie bei der Thoriumemanation eine erhebliche Temperaturbreite, ca. 20°, gegeben.

Die Aktiniumemanation gehört zu den Alpha-Strahlern und liefert einen aktiven Niederschlag.

Der von der Aktiniumemanation erzeugte Niederschlag kann von dem Substrat durch starke Säuren abgelöst werden und ist ebenfalls eine Mischung mehrerer Körper, wie zunächst Hahn und Fräulein Meitner gezeigt haben. Durch Beobachtung der Abklingungskurve des Niederschlages wurde die Existenz des Aktinium A, B und C festgestellt. Es wird angenommen, daß das Aktinium B keine einheitliche Substanz ist, sondern in zwei Bestandteile B_1 und B_2 zerfällt., deren jede eine spezielle Kurve von Alpha-Strahlen aussendet. Das Aktinium B_2 würde dem Thorium C entsprechen.

Das Aktinium C läßt sich durch Kochen einer stark sauren Lösung des aktiven Niederschlages mit Tierkohle oder Platin abscheiden, nach Hahn und Meitner auch unter Verwendung eines elektrischen Feldes isolieren.

Der aktive Niederschlag kann verflüchtigt werden und zwar das Aktinium A bei 400°, das Aktinium B bei 700°, während das Aktinium C wieder leichter flüchtig ist als Aktinium B (Levin).

Bei der Elektrolyse einer salzsauren Lösung des Niederschlages geht das Aktinium B an die Kathode, bei höherer Spannung auch Aktinium A.

Aus saurer oder alkalischer Lösung wird Aktinium A durch Metalle ausgefällt, Aktinium B nicht. Das Aktinium C wird von Tierkohle und Platinmohr absorbiert.

Debierne wies nach, daß ein Teil des aktiven Niederschlages sich in dem die aktive Substanz umgebenden Gase vorfindet.

Das Aktinium A sendet Beta-Strahlen aus und hat eine Halbwertszeit von 36 Minuten.

Das Aktinium B_1 gehört ebenso wie das Aktinium B_2 zu den Alpha-Strahlern; die Halbwertszeiten betragen 3,1 Minuten bezw. einige Sekunden. Das Aktinium C endlich emittiert Beta- und Gamma-Strahlen und hat eine Zerfallsperiode von 7,4 Minuten.

Zusammenstellung der Familien der Radioelemente

I.

Gruppe des Radium

Name des Elements	Atomgewicht	Strahlung	Halbwertszeit M.L.= Mittl. Lebensdauer	Jahr der Auffindung	Entdecker
Uran	238,5	Alpha-Strahlen	Jahrmillionen (M. L. = $9 \cdot 10^9$ Jahre)	1789	Klaproth
Radiouran	234,5	Beta-Strahlen ?	?	1909	Danne
Uran X	230,5	Beta- und Gamma-Strahlen	24,6 Tage (M. L. = ca. 35,5 Tage)	1900	Crookes
Jonium	230,5	Alpha-Strahlen	$2 \cdot 10^5$ Jahre	1906/07	Boltwood und Rutherford
Radium	226,5	Alpha- und Beta-Strahlen	ca. 1800 Jahre (M. L. = 2900 Jahre)	1898	M. u. P. Curie
Radiumemanation	222,5	Alpha-Strahlen	3,85 Tage (M L. = 5,57 Tage)	1900	Dorn
Radium A	218,5	Alpha-Strahlen	3 Minuten (M. L. = 4,3 Minten)	1899/1900	P. u. M. Curie Rutherford
Radium B	214,5	Beta-Strahlen	27 Minuten (M. L. = 38,5 Min.)		
Radium C	214,5	Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlen	20 Minuten (M. L. = 2 ,1 Min.)		
Radium D	210,5	inaktiv oder Beta-Strahlen ?	15 Jahre (M. L. = ca. 20 Jahre)	1904	Rutherford
Radium E_1	210,5	inaktiv	6 Tage (M. L = 8,9 Tage)	1905	Meyer und v. Schweidler
Radium E_2	210,5	Beta-Strahlen	4,8 Tage (M L. = 6,9 Tage)		
Radium F (Polonium Curie, Radiotellur Marckwald	210,5	Alpha-Strahlen	140 Tage (M. L. = 202 Tage)	1898 (1902/03)	Curie (Marckwald)
Radium G = Blei ?	206,5	—	—	—	—

II.
Gruppe des Thoriums

Name des Elements	Atomgewicht	Strahlung	Halbwertszeit (M. L. = Mittl. Lebensdauer)	Jahr der Auffindung	Entdecker
Thorium	232,5	Alpha-Strahlen	(M. L. = 10^{10} Jahre)	1828	Berzelius
Mesothorium I	228,5	inaktiv	5,5 Jahre (M. L. = 7,9 Jahre)	1907	Hahn
Mesothorium II	228,5	Beta-Strahlen	6,2 Stunden (M. L. = 8,9 Stunden)	1907	Hahn
Radiothorium	228,5	Alpha-Strahlen	737 Tage (M. L. = 1063 Tage)	1905	Hahn
Thorium X	224,5	Alpha- und Beta-Strahlen	3,6 Tage (M. L. = 5,35 Tage)	1902	Rutherford und Soddy
Thoriumemanation	220,5	Alpha-Strahlen	54 Sekunden (M. L. = 76 Sekunden)	1900	Rutherford
Thorium A	216,5	Beta-Strahlen	11 Stunden (M. L. = 15,3 Stunden)	1900	Rutherford
Thorium B	212,5	Alpha-Strahlen	55 Minuten (M. L. = 79 Minuten)	1906	Hahn
Thorium C	212,5	Alpha-Strahlen	einige Sekunden (M. L. = sehr kurz)		
Thorium D	208,5	Beta- und Gamma-Strahlen	3 Minuten (M. L = 4,5 Minuten)	1908	Hahn und Meitner

III.
Gruppe des Aktiniums.

Name des Elements	Strahlung	Halbwertszeit (M. L. = Mittlere Lebensdauer)	Jahr der Auffindung	Entdecker
Aktinium (identisch mit Emanium Giesel)	inaktiv	?	1899 (1899)	Debierne (Giesel)
Radioaktinium	Alpha- u. Beta-Strahlen	19,5 Tage (M. L. = 28,1 Tage)	1906	Hahn
Aktinium X (Emanium X Giesel)	Alpha-Strahlen	10,5 Tage (M. L. = 15 Tage)	1906 (1903)	Godlewski (Giesel)
Aktiniumemanation	Alpha-Strahlen	3,9 Sekunden (M. L. = 5,5 Sekunden)	1900	Debierne
Aktinium A	Beta-Strahlen	36 Minuten (M. L. = 52,1 Minuten)	1900	Debierne
Aktinium B_1	Alpha-Strahlen	2 Minuten (M. L. = 3,1 Minuten)	1908	Hahn und Meitner
Aktinium B_2	Alpha-Strahlen	wenige Minuten?		
Aktinium C	Beta- u. Gamma-Strahlen	5 Minuten (M. L. = 7,4 Minuten)		

3. Kapitel.

Die Strahlungen.

Das Wesen der Radioaktivität beruht in der spontanen Emission von Strahlen bestimmten Charakters. Die Spontaneität der Strahlenaussendung setzt also voraus, daß den radioaktiven Elementen Energie von außen in irgend einer Form nicht zugeführt wird, sondern vielmehr, daß die in der Strahlung entbundene Energiemenge in dem radioaktiven Element immanent erzeugt wird oder aufgespeichert liegt.

Hierbei darf man nicht an ein Durchbrechen des Gesetzes von der Erhaltung der Energie denken, sondern es ist klar, daß die bei der kontinuierlichen Strahlung und dem damit verbundenen Zerfall verausgabte Energie durch uns unbekannte chemische Vorgänge ursprünglich in dem Sitz der Energie deponiert worden ist. Allerdings fehlt bisher ein experimenteller Nachweis insofern, als es nicht gelungen ist, die chemische Verschweißung z. B. des Heliums, als welches sich, wie wir sehen werden, die Alpha-Strahlen erweisen, mit der zurückbleibenden Materie, z. B. der Emanation zum Radiumatom aufzuklären oder gar im Laboratorium zu wiederholen.

Die Strahlung ist die fundamentale Eigenschaft der radioaktiven Elemente, und die übrigen Charakteristika, die man zur analytischen Identifizierung strahlender Materie verwendet, sind eigentlich sekundäre Erscheinungen, sind Eigenschaften der emittierten Strahlengattungen. Es sind dies im wesentlichen folgende Erscheinungen: Einwirkung auf die photographische Platte, Erzeugung von Fluoreszenzerscheinungen auf sogen. Leuchtschirmen, Ionisierung des umgebenden Gases oder Gasgemenges, gleichbedeutend mit der Erzeugung der elektrischen Leitfähigkeit.

Diese Wirkungen stellen die auffallendsten, chemisch und chemisch-physikalisch im Vordergrunde stehenden Manifestationen der Radioaktivität dar. Natürlich treten die Radioelemente sowohl durch ihre Strahlung wie durch ihren kontinuierlichen Zerfall auch sonst noch zu der Umgebung in die mannigfachsten Beziehungen chemischer, physikalischer und biologischer Art. Das Studium dieser Beziehungen betrifft jeweils ein Spezialarbeitsgebiet, und das unsere ist es, die biologischen Wirkungen und die sich hieraus ergebenden Folgerungen für die Anwendung der Radioelemente in der Medizin vornehmlich zu therapeutischen Zwecken darzustellen.

Es wurde bereits gesagt, daß die Konstanten der Zerfallsprodukte den die Wesenheit der Radioaktivität umfassenden Komplex von Eigenschaften und Erscheinungen vervollständigen. Besonders interessant für unsere Aufgabe ist in dieser Hinsicht das Verhalten der Radiumsalze, der Radiumemanation, des Mesothoriums und des Thorium X als derjenigen Elemente, die bisher so gut wie ausschließlich in der Therapie Verwendung gefunden und zu den überraschendsten Ergebnissen geführt haben. Wir haben also im folgenden unsere Aufmerksamkeit diesen Repräsentanten der Radioaktivität besonders intensiv zu widmen.

Schon Henri Becquerel erkannte, daß die von dem Uran ausgehenden Strahlen nicht einheitlicher Natur sind, sondern ein komplexes Strahlenbündel darstellen und sich durch die geeigneten Versuchsanordnungen in drei Arten von Strahlen differenzieren lassen. Die weiteren Untersuchungen dieses Problems unter der Anwendung sogenannter Filter, ferner des magnetischen Feldes, der photographischen Platte usw. haben zu dem Ergebnis geführt, daß diese drei Gattungen der Strahlen ein verschiedenes chemisches, physikalisches und biologisches Verhalten zeigen. Besonders verdient um die Analyse der radioaktiven Strahlen haben sich die Physiker Becquerel, Giesel, das Ehepaar Curie, Meyer und von Schweidler, Villard, Rutherford und andere gemacht. Von letzterem stammt auch die Bezeichnung der drei

Strahlengattungen mit den Anfangsbuchstaben des griechischen Alphabetes.

Es sei hier vorausgeschickt, daß der Charakter der von den einzelnen Radioelementen emittierten Strahlen sowohl hinsichtlich der Intensität wie auch ihrer Zugehörigkeit zu bestimmten Strahlengruppen nach verschieden ist. Während das eine Element sowohl Alpha- wie Beta- und Gamma-Strahlen in einer bestimmten quantitativen Proportion aussendet, gehört ein anderes z. B. nur zu den Alpha-Strahlern oder zu den Beta- und Gamma-Strahlern, und jedes Element ist von dem anderen durch das Verhältnis der Menge und Intensität der einzelnen Strahlengattungen zueinander differenziert. Nur eine Kombination ist bisher nicht bekannt, das ist die Vereinigung von Alpha-Strahlen und Gamma-Strahlen mit Ausschluß der Beta-Strahlen in der Emissionsenergie eines einzelnen Elementes. Diese Tatsache wird erklärt durch die Annahme, daß die Gamma-Strahlen sich beim Auftreffen der Beta-Strahlen auf ein Substrat bilden, also in diesem Sinne sekundäre Erscheinungen sind.

Somit hat die von jedem einzelnen Radioelement angegebene Strahlung eine charakteristische Individualität.

Im übrigen sei darauf hingewiesen, daß es noch andere Strahlengattungen gibt, die die gleichen Eigenschaften in bezug auf Ionisierung, Fluoreszenzerregung, Veränderung der photographischen Platte usw. zeigen wie die von den Radioelementen ausgehenden Strahlen, es sind dies die Kathodenstrahlen, die sogenannten Kanalstrahlen oder positiven Strahlen, die Röntgenstrahlen und die ultravioletten Strahlen von sehr kleiner Wellenlänge. Ein wesentlicher Unterschied ist zwischen den beiden Gruppen jedoch darin gegeben, daß die Radiumstrahlen das Merkmal der Spontaneität an sich haben, während zur Erzeugung der übrigen Strahlengattungen das Vorhandensein des elektrischen Stromes Voraussetzung ist, auch ist die geschilderte Uebereinstimmung der wesentlichen Eigenschaften mehr eine qualitative, während die prinzipiell gleichartigen Wirkungen quantitativ so verschieden sind, daß sie eine Unterscheidung der einzelnen Strahlengattungen ermöglichen.

Die Alpha-Strahlen.

Die Alpha-Strahlen bilden den Hauptteil der Strahlenenergie, und zwar etwa 90 Prozent der Radioelemente, nach anderen 64 Prozent (Beta-Strahlen 24 Prozent, Gamma-Strahlen 10 Prozent). Ihre charakteristische Eigenschaft ist ihr außerordentlich geringes Durchdringungsvermögen, so daß sie schon durch ein Blatt Papier, durch ein Aluminiumblatt von 0,1 mm Dicke, dünne Luftschichten usw. vollständig absorbiert werden. Diese Untersuchungen wurden besonders am Polonium studiert, da dieses Element nur Alpha-Strahlen aussendet. Curie fand, daß die Alpha-Strahlen umso leichter absorbierbar sind, eine je größere Schicht Substanz sie bereits durchdrungen haben. Ebenso verhalten sich die Alpha-Strahlen des Radiums, die man isoliert beobachten kann, wenn man die Beta-Strahlen durch ein magnetisches Feld ablenkt.

Die Reichweite der Alpha-Strahlen, d. h. die Länge des Luftweges, den die Alpha-Strahlen zurücklegen können, beträgt ungefähr 7 cm von der Strahlungsquelle. Rutherford untersuchte die Absorption der Alpha-Strahlen des Uranoxyds in verschiedenen Gasen und fand folgende Werte, die den Abstand angeben, bei dem die Strahlen an Intensität um die Hälfte verloren hatten (zitiert nach Curie, Radioaktivität):

Kohlendioxyd	3 mm
Luft	4.3 mm
Kohlenoxyd	7.5 mm
Wasserstoff	16 mm

Im übrigen ist darauf hinzuweisen, daß die Alpha-Strahlen verschiedener Provenienz ein verschiedenes Durchdringungsvermögen haben, daß z. B. die Intensität der Alpha-Strahlen des Urans nach Durchdringung einer Schicht von 4,3 mm Luft, die des Radiums nach Durchdringung einer Schicht von 7,5 mm, die des Thoriums entsprechend 10 mm um die Hälfte vermindert wird.

Die Alpha-Strahlen werden durch ein magnetisches Feld schwach abgelenkt, und zwar im entgegengesetzten Sinne wie die Kathodenstrahlen und im gleichen Sinne wie die positiven Strahlen in den Crookesschen Röhren (siehe Fig. 1). Demnach sind die Alpha-Strahlen als positivgeladen zu betrachten.

Bei der Ablenkung werden die Alpha-Strahlen nicht zerstreut, sondern bleiben in einem Bündel vereinigt (Rutherford). Es folgt daraus, daß die Alpha-Strahlen einen homogenen Charakter haben.

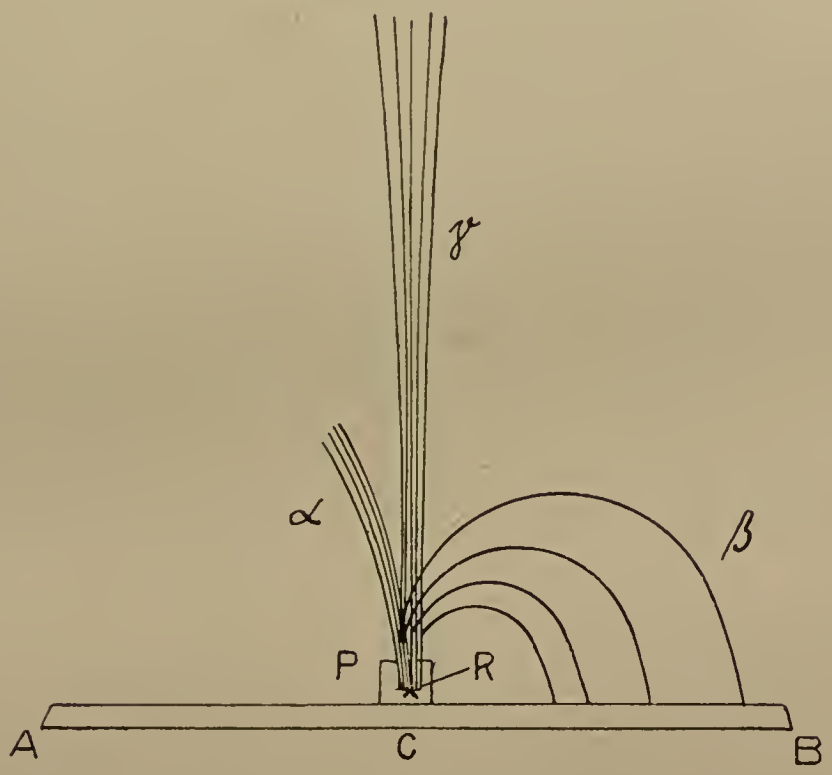


Fig. 1.

A B = photographische Platte.
R = Radium.
P = Bleiblock.

Rutherford stellte auch fest, daß die Alpha-Strahlen im elektrischen Felde abgelenkt werden.

Aus dem geringen Durchdringungsvermögen zog Curie im Jahre 1900 den Schluß, daß die Alpha-Strahlen „als mit großer Geschwindigkeit begabte Projektile zu betrachten sind, die beim Durchdringen von Hindernissen einen Verlust an lebendiger Kraft erleiden."

Eine eigenartige Erscheinung ist die Erregung des Szintillationen, die von Crookes entdeckt worden sind (1903) und in einem besonderen Apparat, dem Spinthariskop, leicht demonstriert werden können. Ueber einer Sidotblende ist in einem Abstand von etwa 0,5 mm ein Körnchen Radiumsalz angeordnet. Die von diesem ausgehenden Alpha-Partikelchen treffen mit großer Geschwindigkeit auf den Zinksulfidschirm und erzeugen beim Aufstoßen einen förmlichen Regen von leuchten-

den Punkten, die sofort wieder verschwinden. Man kann dieses Aufleuchten wahrnehmen, da die Anordnung in einem mit einer Lupe versehenen dunklen Gehäuse untergebracht ist. Daß diese Erscheinung durch die Alpha-Strahlen hervorgerufen wird, läßt sich experimentell nachweisen, indem man zwischen Radiumsalz und Sidotblende eine dünne Aluminiumscheibe einlegt, durch welche die Alpha-Strahlen absorbiert werden; alsdann unterbleibt das Aufleuchten.

Außer vom Radium erhält man Szintillationen bei Verwendung von Aktinium oder Polonium, Uran, Thorium usw., besonders schön mittels der Aktiniumemanation. Dieses Phänomen ist eine spezifische Eigenschaft der Alpha-Strahlen.

Die Alpha-Strahlen besitzen in besonders hohem Grade die Eigenschaft, G a s e z u i o n i s i e r e n, d. h. für den elektrischen Strom l e i t f ä h i g z u m a c h e n. Und zwar ist das Ionisationsvermögen als eine Funktion der Geschwindigkeit zu betrachten, mit der die Partikelchen abgestoßen werden. Diese Geschwindigkeit speziell der Alpha-Partikel ist eine außerordentlich hohe, vermindert sich indes schon in ganz geringer Entfernung von der Quelle infolge des Widerstandes, den ihre relativ große Masse beim Durchgang durch Gase und besonders durch feste Körper erleidet, dann aber auch durch die bei der Ionisierung geleistete Arbeit und den damit verbundenen Energieverlust. Hat die Geschwindigkeit der Fortbewegung eine gewisse untere Grenze erreicht (kritische Geschwindigkeit, B e c q u e r e l), so erlischt die ionisierende Kraft, es erlöschen aber auch die Einwirkungen auf die photographische Platte wie auf die Leuchtschirme.

Somit ist die Reichweite, das Ionisierungsbereich der Alpha-Strahlen genau abgegrenzt und zwar hängt, wie bereits oben zahlenmäßig angeführt, die Größe des Ionisierungsbereiches einmal von dem Charakter der emittierenden Substanz, sodann von der Anfangsgeschwindigkeit ab.

Da wir uns nun die Alpha-Strahlen als materielle, mit einer positiv-elektrischen Ladung versehene Partikelchen vorstellen müssen, erscheint es natürlich, daß diese in der Geschwindigkeit ihrer Fortbewegung beim Durchtritt durch die Umgebung je nach dem Aggregatzustand mehr oder weniger stark gehemmt werden. So ist es erklärlich, daß die aus dem Innern eines radioaktiven

Materials ausgesandten Alpha-Strahlen z. T. schon beim Durchtritt durch die Masse der radioaktiven Materie absorbiert werden. Die Absorption erfolgt um so vollkommener, je dichter die Masse ist, die von den Alpha-Strahlen getroffen wird. Es wird demnach bei der an sich geringen Reichweite der Alpha-Strahlen ein Teil der aus dem Innern des radioaktiven Körpers ausgesandten Alpha-Strahlen überhaupt nicht bis zur Oberfläche dringen können, während ein anderer Teil, der etwa unmittelbar unterhalb der Oberfläche seinen Ausgangspunkt hat, eine geringere Reichweite zeigen wird, als die direkt von der Oberfläche ausgehenden Strahlen. Nach Bragg und Kleeman ist die Absorptionskraft gewisser Metalle und Gase für Alpha-Strahlen ungefähr proportional der Quadratwurzel aus dem Atomgewicht des absorbierenden Mediums. Im übrigen wechselt ja auch die Geschwindigkeit der Alphapartikelchen je nach dem Ausgangsmaterial; so haben nach Becquerel die größte Geschwindigkeit die Alpha-Strahlen des Thorium C, die $2{,}2 \cdot 10^9$ beträgt.

Die von der Oberfläche einer radioaktiven Substanz ausgehenden Alpha-Strahlen haben alle dieselbe Anfangsgeschwindigkeit, mithin auch die gleiche Reichweite (Bragg und Kleeman). Um die Ionisation der Alpha-Strahlen zu bestimmen, haben Bragg und Kleeman eine geistreiche Methode eingeführt, die auch die wichtige Tatsache gelehrt hat, daß das Radium vier Gruppen von Strahlen aussendet, die sich durch ihre Geschwindigkeit voneinander unterscheiden und die man voneinander trennen kann. Die Reichweiten in Luft wurden mit 3,5 cm, 4,23 cm, 4,83 cm und 7,06 cm bestimmt. Je dünner die Schicht der strahlenden Substanz ist, umso präziser lassen sich die verschiedenen Strahlenbündel trennen, am schärfsten, wenn man eine verdünnte Lösung eines Radiumsalzes auf einer Metallplatte verdunsten läßt. Die Alpha-Strahlen des Radiums besitzen die kleinste Reichweite, während die größte Reichweite den vom aktiven Niederschlag des Radiums ausgehenden Strahlenbündel zukommt. Die Alpha-Strahlen des Poloniums haben eine Reichweite von 3,86 cm.

Das Aktinium sendet vier oder fünf Gruppen von Alphastrahlen aus mit verschiedenen Reichweiten (Hahn) von 5,5 cm, 6,55 cm, 4,8 cm und 5,8 cm.

Die Alphastrahlung des Thoriums wurde ebenfalls von Hahn nach der Methode von Bragg untersucht, und es wurden fünf Gruppen von Alphastrahlen mit den Reichweiten von 3,9 cm, 5,7 cm, 5,5 cm, 5,0 cm und 8,6 cm festgestellt.

Um die Ionisation der Alpha-Strahlen in einen rechnerischen Begriff zu bringen, bezeichnet man den Abstand von der aktiven Substanz, die als eine ebene und sehr dünne Schicht gedacht ist, mit x, die Zahl der Ionen, die zwischen zwei zu der aktiven Fläche parallelen Ebenen liegen, mit I, woraus sich die Gleichung

$$I = f(x)$$

als Ausdruck der Ionisationskurve ergibt. Es zeigt sich, daß das Ionisierungsvermögen eines Alphapartikels ein Maximum überschreitet und alsdann rasch abnimmt, ferner, daß der Endpunkt der Reichweite nicht von allen und nicht von einer konstanten Zahl der emittierten Alphapartikelchen erreicht wird.

Schaltet man zwischen radioaktiver Substanz und Endpunkt der Reichweite einen dünnen Metallschirm, so wird die Ionisationskurve parallel zu sich selbst verschoben, durch einen zweiten gleich dicken Schirm wiederum um den gleichen Betrag. Durch Berechnung kann man die diesem Schirm entsprechende Luftschicht ermitteln und eine allgemeine Formel aufstellen, durch die die Verschiebung der Kurve pro Atom der absorbierenden Substanz ausgedrückt wird. Diese Größe V beträgt:

$$V = \frac{\Delta \, p}{l \varrho}$$

wobei Δ die beobachtete Verschiebung der Kurve bedeutet, l die Dicke des Schirms, die Dichte der Substanz und p das Atomgewicht der absorbierenden Substanz. Dieser Wert ist, wie bereits eben erwähnt, proportional der Quadratwurzel aus dem Atomgewicht p.

Die Absorption eines Gases ist annähernd proportional zu seinem Druck (Rutherford, Owens).

Beim Durchtritt der Alpha-Strahlen durch ein Medium erleidet ihre Geschwindigkeit einen Verlust, der sich bis zum Eintritt der kritischen Geschwindigkeit steigert, also bis zu dem Punkte, bei welchem die Alpha-Partikelchen die spezifischen

radioaktiven Eigenschaften verloren haben. Aus dieser Tatsache ist übrigens zu erkennen, daß zwischen den Eigenschaften der Wirkung auf die photographische Platte, der Ionisierung usw. ein sehr enger Zusammenhang besteht.

Schon frühzeitig hat man erkannt, daß die Alpha-Strahlen aus materiellen Teilchen (m) zusammengesetzt sind, daß diesen also eine Masse zukommt. Da sie außerdem mit einem Potential (e) geladen sind, bietet die Beziehung $\frac{e}{m}$ einen Wert, der bei der Untersuchung der verschiedenen Strahlengattungen einen wichtigen Vergleichswert darstellt; das Verhältnis lehrt

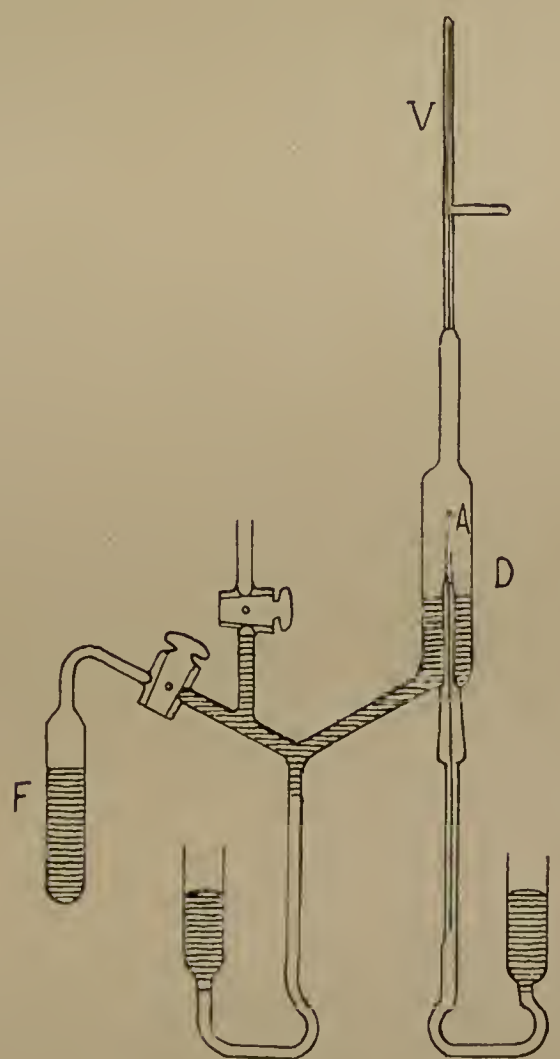


Fig. 2.

uns, daß dieser Wert bei den Alpha-Teilchen 3500 mal kleiner ist als bei den Beta-Strahlen.

Der Wert $\frac{e}{m}$ hat auch bei der Erkennung der wahren Natur der Alpha-Partikel eine große Rolle gespielt. Ruther-

ford hatte theoretisch vorausgesagt, daß die Alpha-Partikel Heliumatome seien, die mit einer elektrischen Ladung versehen seien. Auf Grund seiner Berechnungen ermittelte er, daß, wenn seine Hypothese zutrifft, der Wert $\frac{e}{m}$ die Hälfte von der experimentell gefundenen Zahl $5{,}10^3$ ausmachen würde. Hieraus war der Schluß zu ziehen, daß ein Alpha-Partikel ein mit dem doppelten Elementarquantum Elektrizität geladenes Heliumatom ist. Diese theoretische Beweisführung wurde durch das Experiment bewiesen. Rutherford und Royds konnten experimentell feststellen, daß in einem Raume durch Eindringen von Alpha-Strahlen Helium entwickelt wird. In dem Glasrohr A mit einer Wandstärke von weniger als 0,01 mm befindet sich Radiumemanation. Die Alpha-Teilchen gehen durch die Glaswand hindurch in das Gefäß D, in dem ein vollkommenes Vakuum herrscht. Dieses wird erzeugt durch Kohle, die mit flüssiger Luft behandelt worden ist. Nach zwei Tagen tritt die gelbe Heliumlinie im Spektrum schwach hervor, nach 4 Tagen auch die grünen Linien und nach 6 Tagen kann in dem Gefäß D die Anwesenheit von Helium durch ein vollkommenes Spektrum mit absoluter Sicherheit nachgewiesen werden (Fig. 2).

Dieser Versuch ergab, daß die Alpha-Teilchen das dünne Glasrohr durchdrungen hatten und sich im Vakuum als Heliumatome identifizieren ließen.

Auch die elektrische Ladung der Alpha-Strahlen ist bestimmt worden (Rutherford und Geiger) und zwar wurde gefunden, daß die Ladung der Alpha-Strahlen, die von einer mit einem Gramm Radium im Gleichgewicht stehenden Menge Radium C ausgesandt werden, dem Wert von 31,6 elektrostatischen Einheiten entspricht.

Es wurde weiterhin von Duane ermittelt, daß die Alpha-Teilchen am Grenzpunkte ihres Ionisationsbereiches auch ihre elektrische Ladung verloren haben.

Eine direkte Zählung der Alpha-Teilchen wurde von Rutherford und Geiger vorgenommen und als die Zahl N der in einer Sekunde von dem mit einem Gramm Radium im Gleichgewicht befindlichen Radium C ausgesandten Alpha-Teilchen der Wert $3{,}4 \cdot 10^{10}$ berechnet.

Im Vorstehenden ist öfter von dem Gleichgewichtszustande zwischen Mutter- und Tochtersubstanz die Rede gewesen. Dieser Zustand versinnbildlicht ein bestimmtes Ruheverhältnis der zerfallenden Materie zu der Reihe der entwickelten Produkte, z. B. gibt das Radium kontinuierlich (in dem von der Lebensdauer von ca. 1800 Jahren beschränkten Sinne) Radiumemanation und Strahlen ab, und zwar zerfällt immer von neuem eine so große Menge Radium, als durch Emission bezw. Emanation an Zerfallsprodukten zu Verlust gegangen ist. Treibt man aus einer Radiumsalzlösung, in der Emanation bis zur Sättigung gelöst ist, diese Emanation mittels Hindurchleitens eines Luftstromes aus, so vergeht eine gewisse Zeit, bis die Flüssigkeit sich von neuem mit Emanation gesättigt hat, und zwar wird solange Emanation gebildet und in der Flüssigkeit gelöst, bis eine gewisse Maximalgrenze erreicht wird, bei der die zu Verlust gegangene Emanation durch die neugebildete vollkommen ersetzt wird. Diesen Zustand bezeichnet man als Gleichgewicht. Die radioaktiven Elemente einer Familie, ja auch gewisse Glieder der drei Familien untereinander kommen in der Natur im Gleichgewichtszustande vor. In einem Gramm Radium ist immer nur ein bestimmtes Quantum seiner Zerfallsprodukte enthalten, und ebenso steht der radioaktive Niederschlag unter dem Gesetz des Gleichgewichts, indem seine Komponenten in einem bestimmten quantitativen Verhältnis vorkommen.

Es läßt sich das Volumen z. B. der mit einem Gramm Radium im Gleichgewicht stehenden Emanation berechnen, und zwar beträgt dieses Volumen V bei Normaldruck und Normaltemperatur

$$V = \frac{3{,}4 \cdot 10^{10} \cdot 4{,}82 \cdot 10^{5}}{2{,}7 \cdot 10^{10}} \text{ ccm} = 0{,}6 \text{ ccm}.$$

Hierbei ist der Wert $4{,}82 \cdot 10^{5}$ Sekunden der Ausdruck für die mittlere Lebensdauer der Emanation, und der Wert $3{,}4 \cdot 10^{10}$ die Zahl der in einer Sekunde von einem Gramm Radium gelieferten Atome unter der Voraussetzung, daß ein Radiumatom immer nur in ein Alpha-Teilchen und in ein Atom Emanation zerfällt.

Das Volumen V des in einer Sekunde unter gleichen Verhältnissen produzierten Heliums beträgt

$$V = \frac{4 \cdot 3{,}4 \cdot 10^{10}}{2{,}7 \cdot 10^{10}} \text{ ccm} = 0{,}34 \text{ ccm (Curie).}$$

Kennt man den Sättigungsstrom i, d. h. denjenigen Strom, der in einer Ionisationskammer durch die in der Zeiteinheit emittierten n Atome von Alphateilchen erzeugt wird, so berechnet sich, die Ladung eines Ions gleich e gesetzt, die Zahl N der gebildeten Ionen nach der Formel

$$N = \frac{i}{n} e$$

Nach Rutherford beträgt die Zahl der Ionen, die von einem Alphapartikelchen des Radiums bei einer Reichweite von 5,3 cm erzeugt werden, annähernd 120 000. Für die einzelnen Mitglieder der Radiumfamilie, soweit sie Alphastrahler sind, gibt die nachfolgende Tabelle neben der Reichweite die Zahl der produzierten Ionen sowie in der dritten Rubrik das Verhältnis der letzteren Zahl zur Reichweite an (entnommen aus Curie, Radioaktivität).

Radium	3,50 cm	$1{,}53 \cdot 10^5$	$4{,}37 \cdot 10^4$
Emanation	4,32 „	$1{,}74 \cdot 10^5$	4,11
Radium A	4,83 „	$1{,}87 \cdot 10^5$	3,87
Radium C	7,06 „	$2{,}37 \cdot 10^5$	3,36
Radium F	3,86 „	$1{,}62 \cdot 10^5$	4,19

Das Verhältnis N/a wird, wie aus der Tabelle ersichtlich, mit wachsender Reichweite kleiner.

Der Sättigungsstrom i, den man mit einem Gramm Radium im Minimum der Aktivität erhalten würde bei Ausbreitung in sehr dünner Schicht auf einer Platte, würde auf $1{,}21 \cdot 10^6$ elektrostatische Einheiten zu berechnen sein.

Die Experimente von Becquerel, Curie, Moulin haben ergeben, daß die Alpha-Strahlen keine Sekundärstrahlen mit radioaktiven Eigenschaften bilden. Sie pflanzen sich ebenso wie die Beta- und Gamma-Strahlen in der Luft und im Vakuum gradlinig fort und erleiden weder eine Reflexion, noch eine Brechung, noch eine Polarisation.

Die Beta-Strahlen.

Die charakteristischen Eigenschaften der Beta-Strahlen sind erstens ihr im Verhältnis zu den Alpha-Strahlen größeres Durchdringungsvermögen, sodann ihre Ablenkbarkeit im magnetischen Felde im gleichen Sinne wie die Kathodenstrahlen, und zwar sind die einzelnen Strahlen der Betagruppe sowohl hinsichtlich ihrer Absorbierbarkeit, wie ihrer Ablenkbarkeit im magnetischen Feld verschieden.

Die Beta-Strahlen werden also im entgegengesetzten Sinne wie die Alphastrahlen abgelenkt. Aus Vorstehendem ergibt sich, daß die Betastrahlen nicht einheitlicher Art, sondern ein aus verschiedenen Strahlen mit verschiedenem Verhalten zusammengesetztes Bündel sind. Es sei hier auf Figur 1 hingewiesen, die den Becquerel'schen Versuch wiedergibt und u. a. auch die Verschiedenartigkeit der Betastrahlen illustriert. Wie in der nachfolgenden Figur dargestellt, beschreiben die Beta-Strahlen — analog den Kathodenstrahlen — vollkommene Kreise und wirken auf die mit der Schichtseite nach unten liegende photographische Platte, wenn die Strahlungsquelle auf der anderen Seite der Platte liegt.

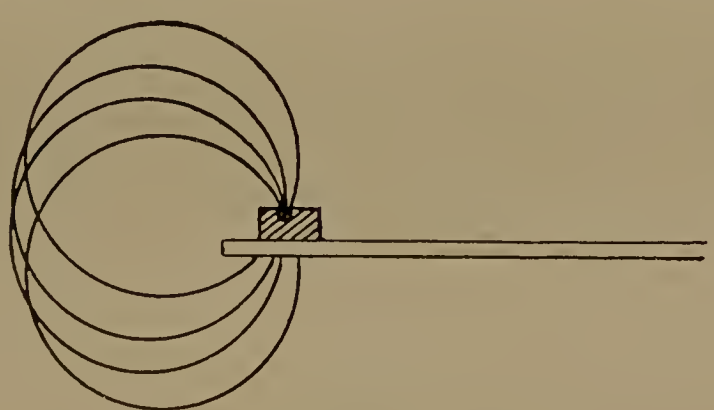


Fig. 3.

Demnach sind die Beta-Strahlen als materielle Partikelchen zu betrachten analog den Alpha-Strahlen, nur mit dem Unterschied, daß die Beta-Strahlen mit einer negativen Ladung versehen sind. Im magnetischen Feld beschreiben sie eine kreisförmige Bahn, deren Radius sich aus folgender Formel ergibt.

$$\frac{m\,v}{e} = HR$$

wobei m die Masse der Partikel, e die elektrische Ladung, v ihre Anfangsgeschwindigkeit und H die Feldintensität bezeichnet (Curie).

Becquerel stellte fest, daß die Durchdringungskraft der Beta-Strahlen um so geringer ist, je stärker sie vom magnetischen Feld abgelenkt werden, daß also diejenigen, deren kreisförmige Ablenkung im kleinsten Radius erfolgt, am intensivsten absorbiert werden.

Mit Hilfe eines besonderen Apparates gelang es Becquerel die verschiedenartigen Beta-Strahlen des Radiums von einander zu trennen.

Lenard und Perrin wiesen nach, daß die Beta-Strahlen beim Durchgang durch geerdete Metallschirme oder durch isolierende Schichten ihre Ladung nicht verlieren. Der Apparat von Strutt gestattet den Nachweis der von den Beta-Strahlen mitgeführten Elektrizität. In einem Glasgefäß ist ein kleines Gläschen mit Radium isoliert aufgehängt und mit zwei Goldblättchen verbunden, auf die wie auf ein Elektroskop das Radium einwirken kann. Das Gefäß wird luftleer gemacht. Nun zeigt das Elektroskop die Ladung an, in dem das Goldblättchen ausschlägt, hierbei einen mit der Erde in Verbindung stehenden Knopf berührt, an diesen die Ladung abgibt, abgestoßen wird, wieder neue Ladung empfängt und so beständig hin- und herschwankt.

Zur Messung der elektrischen Ladung hat Rutherford folgendes Verfahren eingeschlagen. Er aktivierte einen Bleistab von 4 cm Länge und 4 mm Durchmesser durch Radiumemanation bis zum stationären Endwerte der induzierten Aktivität und verglich nun die Aktivität des Stabes mit derjenigen einer im radioaktiven Gleichgewicht befindlichen bekannten Menge Radiumbromids, das in einem Glasgefäß untergebracht war. Durch einen gleichartigen absorbierenden Schirm (Aluminiumfolie von 0,053 mm Dicke) wurden die Alpha-Strahlen beider Quellen zurückgehalten. Der so vorbereitete Stab, umwickelt mit der Aluminiumfolie, wurde als Elektrode in ein Gefäß gebracht, das sehr rasch evakuiert wurde, und nun wurde mit dem Elektrometer

der Strom gemessen, der zwischen Gefäß und Elektrode bei Herstellung eines elektrischen Feldes auftrat.

Die beobachtete Intensität betrug

$$ne = \frac{i_1 + i_2}{2}$$

wobei i_1 und i_2 die beiden Ströme bedeuten, die bei verschiedener Richtung des Feldes gegen die Elektrode auftreten, während n die Anzahl der von der Elektrode in einer Sekunde ausgesandten Beta-Teilchen und e die Ladung jedes Teilchens bedeutet. Setzt

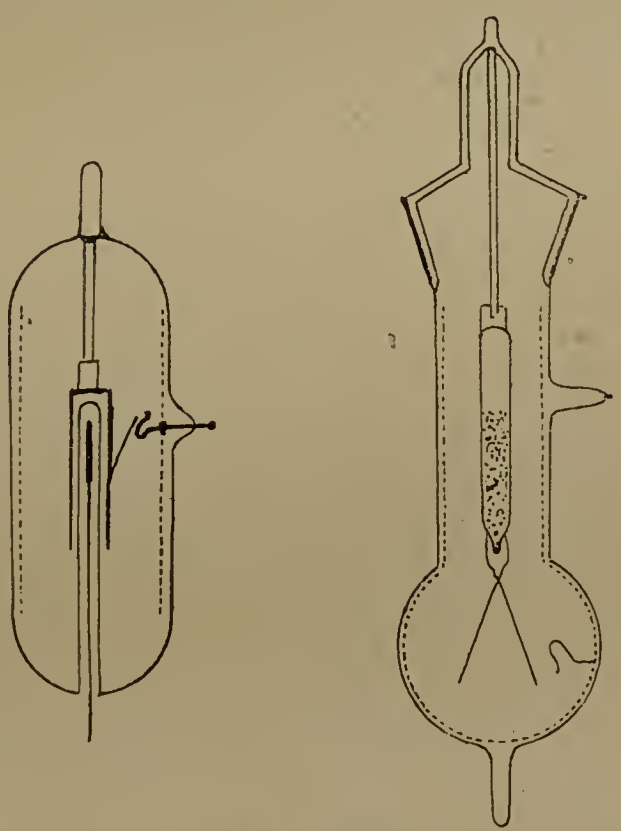


Fig. 4 und 5.

man den Wert $e = 4{,}7 \cdot 10^{-10}$ elektrostatische Einheiten, so läßt sich nach obiger Formel die Anzahl der Beta-Teilchen, die in der Sekunde von dem mit einem Gramm Radium in Gleichgewicht stehenden aktiven Niederschlag abgegeben werden, berechnen; der gefundene Wert beträgt $5{,}3 \cdot 10^{10}$. Makower schätzt diese Größe auf den Wert von ungefähr 10^{11}.

Vom elektrischen Felde werden die Beta-Strahlen ebenfalls analog den Kathodenstrahlen abgelenkt, wie von Dorn und

Becquerel nachgewiesen wurde. Die hierfür gültige Formel ist die folgende.

$$\delta = \frac{e \cdot h}{m v^2} \cdot l \left(d - \frac{l}{2}\right)$$

worin δ die Ablenkung, l die Länge des Feldes, h dessen Intensität, e die Ladung eines Teilchens, m seine Masse, v seine Geschwindigkeit und d die Entfernung der photographischen Platte von der Strahlungsquelle bezeichnet. Das Verhältnis e/m, durch welches das Verhältnis der elektrischen Ladung der Masse der ausgeschleuderten Beta-Partikel dargestellt wird, ist von Becquerel und besonders von Kaufmann untersucht worden, und zwar hat sich ergeben, daß diese Beziehung mit zunehmender Geschwindigkeit kleiner wird, daß also der Wert für die Beta-Strahlen, die eine viel größere Geschwindigkeit haben als die Kathoden-Strahlen, kleiner sein muß, als der für die letzteren gefundene Wert. Bezeichnet man das Verhältnis v/c, worin v die Geschwindigkeit eines Betastrahls und c die Geschwindigkeit des Lichtes darstellt, mit ϱ, so entsprechen sich nach Kaufmann folgende Werte von e/m und ϱ:

ϱ	$\frac{e}{m}$			
0,94	0,63	. 10^7	elektromagnet.	Einheiten
0,91	0,77	. „	„	„
0,86	0,975	. „	„	„
0,83	1,17	. „	„	„
0,79	1,31	. „	„	„
0,72	1,49	. „	„	„
0,59	1,68	. „	„	„

Für die Kathodenstrahlen gelten folgende Beziehungen: $e/m = 1{,}87 \cdot 10^7$ für $\varrho = 0{,}2$ (Simon) oder nach neuerer Messung von Classen $e/m = 1{,}77 \cdot 10^7$ für $\varrho =$ ca. 0,06.

Da die Beta-Strahlen eine viel größere Geschwindigkeit haben als die Kathodenstrahlen, ist ihnen auch ein größeres Durchdringungsvermögen eigen. Sie erleiden indes bei ihrem Durchgang durch die Materie je nach der Dichte derselben, nach ihrer Stärke sowie nach der Geschwindigkeit, mit dem die Beta-Teilchen auftreffen, eine entsprechende Absorption. Man kann

diese Absorption messen, indem man die Ionisation bestimmt, die hervorgerufen wird, wenn die radioaktive Substanz mit verschiedenen Schirmen bedeckt ist; oder man mißt die Ladung der Beta-Strahlen und berechnet die Zahl der Partikel.

Die zur Berechnung des Durchdringungsvermögens dienende Formel, die also mit dem Absorptionskoeffizienten rechnet, ist die folgende:

$$dJ = -\mu J dx$$

$$J = J_0 e^{-\mu x},$$

worin J die Intensität des Strahlenbündels, d x den Durchmesser der Materie, J_0 die ursprüngliche Intensität und μ den Absorptionskoeffizienten bezeichnet. Hieraus ergibt sich, daß die Intensität des Durchdringungsvermögens in geometrischer Progression abnimmt, wenn die durchdrungene Schicht an Dicke in arithmetischer Progression zunimmt. Auch auf die zweite oben genannte Methode ergibt sich, daß der Absorptionskoeffizient mit zunehmender Schichtdicke der durchstrahlten Substanz kleiner wird. Im Folgenden ist nach C u r i e, Radioaktivität, eine Tabelle aufgeführt, in der die Absorptionskoeffizienten μ in Aluminium und die Dicke der Aluminiumschicht, welche die Strahlung durchdringen muß, bis ihre Intensität auf die Hälfte sinkt, bezeichnet mit D, für die verschiedenen radioaktiven Substanzen aufgeführt ist.

Primärsubstanz		μ	D	
Uran	Uran X	$14\frac{1}{cm}$	0,5 mm	Rutherford
		510		H. W. Schmidt
Aktinium	Radioakinium	172	0,04	Hahn und Meitner
	Aktinium A	sehr absorbierter		
	Aktinium C	32,7	0,21	Godlewski
Radioblei	Radium E	40	0,17	Schmidt
Thorium	Mesothorium II	20—40		Hahn und Meitner
	Thorium X	sehr absorbierbar		
	Thorium A	140	0,05	
	Thorium D	15,7	0,44	
Radium	Radium	sehr absorbierbar		Schmidt
	Radium B	890?		
	(inhomogene Strahlen?)	80		
		13,1?		
	Radium C	53		
	(inhomogene Strahlen?)	13,1		

Beim Auftreffen der Beta-Strahlen auf einen Schirm absorbierender Substanz zeigt sich sowohl an der Eintritts- wie an der Austrittsstelle eine diffuse Strahlung, die entweder als zerstreute Primärstrahlen oder als Sekundärstrahlen oder als beides aufzufassen ist. Unter Sekundärstrahlen sind solche Strahlen zu verstehen, deren Aussendung durch das Auftreffen der Primärstrahlen auf die Substanz erregt wird. Duane hat in der Tat das Auftreten von Sekundärstrahlen der Beta-Strahlen in Form langsamer Elektronen — analog den Kathodenstrahlen — beobachtet, während die Alpha-Strahlen, wie bereits erwähnt wurde, keine Sekundärstrahlung erzeugen und die Gamma-Strahlen nur in geringem Maße dazu fähig sind.

Man spricht von weichen Beta-Strahlen, wenn ihr Durchdringungsvermögen relativ gering ist, und von harten Beta-Strahlen, um denjenigen Teil zu bezeichnen, der ein größeres Durchdringungsvermögen besitzt. Im Allgemeinen kann man annehmen, daß die Durchdringungskraft der Beta-Strahlen etwa 100 mal so groß ist wie die der Alpha-Strahlen.

Die Gamma-Strahlen.

Villard beobachtete zuerst, daß ein Teil der vom Radium ausgehenden Strahlen im magnetischen Felde nicht ablenkbar ist und eine sehr große Durchdringungskraft besitzt; dieser Anteil wurde von Curie mit 10 % der Gesamtstrahlung berechnet. Es sind diese Strahlen die Gamma-Strahlen, deren wesentlichste Eigenschaft ihre überaus geringe Absorbierbarkeit ist, so daß sie Metallschichten von 20—30 cm Dicke passieren und nach dem Durchgange noch ionisierend wirken können. Man kann diejenigen Strahlen, die durch ein 1 Zentimeter dickes Bleifilter hindurchgehen, als reine Gamma-Strahlen ansehen. Der Absorptionskoeffizient nimmt mit wachsender Schichtdicke ab und ist annähernd proportional der Dichte der absorbierenden Substanz.

In der folgenden Tabelle sind die Absorptionskoeffizienten für Gamma-Strahlen bei Benutzung verschiedener absorbierender Substanzen in verschiedener Schichtdicke l nach Passieren

einer 8 mm starken Bleiplatte angegeben (Mc. Clelland, zitiert nach Curie, Radioaktivität).

	$l = 2{,}5$ mm	$l = 5$ mm	$l = 10$ mm	$l = 15$ mm
Platin	$\mu =$ 1,167			
Quecksilber	0,726	0,661	0,538	0,493
Blei	0,641	0,563	0,480	0,440
Zink	0,282	0,266	0,248	0,266
Aluminium	0,104	0,104	0,104	0,104
Glas	0,087	0,087	0,087	0,087
Wasser	0,034	0,034	0,034	0,034

Das Verhältnis des Absorptionskoeffizienten μ zur Dichte d der absorbierenden Substanz ist in der nachfolgenden Tabelle verzeichnet.

	$l = 2{,}5$ mm	$l = 5$ mm	$l = 10$ mm	$l = 15$ mm
Platin	$\frac{\mu}{d} =$ 0,054			
Quecksilber	0,053	0,048	0,039	0,036
Blei	0,056	0,049	0,042	0,037
Zink	0,039	0,037	0,034	0,033
Aluminium	0,038	0,038	0,038	0,038
Glas	0,034	0,034	0,034	0,034

Der mittlere Wert von $\frac{\mu}{d}$ für die Gamma-Strahlen des Radiums ist 0,0399, für die des Uran X 0,0470 (Soddy und Russell). Die Gamma-Strahlen des Radiums, des Thoriums und der Pechblende haben nach Eve den gleichen Absorptionskoeffizienten, während die Gamma-Strahlen des Urans eine geringere Durchgangskraft haben als die des Radiums und Thoriums; noch leichter absorbierbar als die Gamma-Strahlen des Urans sind die des Aktiniums.

Das Durchdringungsvermögen der Gamma-Strahlen des Radiums ist über 100 mal so groß als das der Beta-Strahlen und 10 000 mal so groß wie das der Alpha-Strahlen.

Die Verschiedenartigkeit der Durchdringungskraft der

Gamma-Strahlen bei den einzelnen Radioelementen ist eine Grundlage für die quantitative Bestimmung der Strahlungsquelle. Man kann ohne Schwierigkeit die Alpha- und Beta-Strahlen durch geeignete Filter ablenken und somit die Gamma-Strahlen isolieren. Zur Messung der Gamma-Strahlen kann man sich wie zur Messung der Beta-Strahlen einer Ionisationskammer bedienen oder eines Plattenkondensators für radioaktive Substanzen größerer Ausdehnung. Wir werden hierauf noch zurückkommen.

Ihrer ganzen Natur nach bilden die Gamma-Strahlen ein Analogon zu den Röntgenstrahlen. Im magnetischen Felde sind die Gamma-Strahlen nicht ablenkbar. Die Teilchen besitzen eine überaus große Geschwindigkeit. Sie tragen keine elektrische Ladung, pflanzen sich vollständig gradlinig fort, werden nicht gebrochen, polarisiert, reflektiert oder gebeugt.

Nach alledem faßt man die Gamma-Strahlen als Aetherimpulse auf, die abhängig sind von der Anwesenheit korpuskulärer Bestandteile, deren Auftreffen die Entstehung elektromagnetischer Wellen erzeugt.

Nach dieser Anschauung geht den Gamma-Strahlen der Charakter des Materiellen ab. Sie sind an die Anwesenheit und Funktion der Beta-Strahlen gebunden, ebenso wie die Röntgenstrahlen von den Kathodenstrahlen abhängig sind. Allerdings ist von mehreren Beobachtern das Auftreten von Sekundärstrahlen durch die Gammastrahlen wahrgenommen worden. Bragg hat verschiedentlich die Ansicht vertreten, daß die Gamma-Strahlen ebenso wie die Röntgenstrahlen doch materielle Teilchen darstellen und daß sie aus einem negativ und einem positiv geladenen Anteile zusammengesetzt seien, die sich gegenseitig neutralisieren. Man kann der Ansicht sein, daß beim Auftreffen dieser kombinierten Teilchen auf ein materielles Substrat eine Trennung erfolgt, wobei die negativ geladenen Hälften sekundäre Beta-Strahlen erzeugen, ja diese sekundäre Strahlung ist nach den Untersuchungen von Becquerel sogar noch aktiver als die Primärstrahlung. Legt man eine Bleiplatte mit einer photographischen Platte zusammen und läßt die Gamma-Strahlen durch die Bleiplatte hindurchwirken, so ist der erzielte radiographische Effekt auf der Platte stärker, als wenn man sie unter Ausschaltung der Bleiplatte direkt bestrahlt.

Es ist somit nachgewiesen, daß die Gamma-Strahlen ebenso wie die Röntgenstrahlen eine sekundäre Strahlung erregen, und zwar ist diese umso leichter absorbierbar, je größer die Dichte des von den Primärstrahlen getroffenen Metalles ist; es gibt übrigens solche sekundären Strahlen, die ein sehr großes Durchdringungsvermögen besitzen, z. B. die beim Auftreffen von Primärstrahlen auf Blei entstehenden.

Die Intensität der Sekundärstrahlen bei gemeinsamer Einwirkung der Beta- und Gamma-Strahlen, dann von Gamma-Strahlen allein und vergleichsweise von Röntgenstrahlen ist in folgender Tabelle zum Ausdruck gebracht (Eve, Townsend, zitiert nach Curie, Radioaktivität).

	β- und γ-Strahlen	γ-Strahlen	Röntgenstrahlen
Blei	100	100	100
Kupfer	57	61	291
Messing	58	59	263
Zink	57	—	282
Aluminium	30	30	25
Glas	31	35	31
Paraffin	12	20	125

Kleeman analysierte die sekundären Gamma-Strahlen und stellte fest, daß diese mindestens aus drei verschiedenen Gruppen bestehen, analog den primären Gamma-Strahlen, die nach Kleeman ebenfalls nicht homogen sind, sondern sich aus drei Komponenten zusammensetzen. Nach diesem Autor sind die Sekundärstrahlen leichter absorbierbar — und zwar von den verschiedenen Substanzen in demselben Verhältnis — als die Primärstrahlen.

Es ergibt sich aus dem Vorstehenden, daß zwischen den drei Strahlengattungen der Radioelemente wesentliche Unterschiede bestehen, die auch das verschiedenartige Verhalten bei der therapeutischen Anwendung der Strahlenenergie erklären. Während die Alpha- und Beta-Strahlen aus elektrisch geladenen

korpuskulären Teilchen bestehen, sind die Gamma-Strahlen höchstwahrscheinlich als Aetherimpulse zu betrachten, die dann entstehen, wenn materielle Beta-Teilchen auf ein Hemmnis auftreffen; die Gamma-Strahlen sind demnach lediglich Energie-Erscheinungen, sie sind Teile der in den Beta-Partikelchen enthaltenen Energie, die beim Auftreffen auf ein Hemmnis, also bei der mechanischen Behinderung ihrer weiteren Ausbreitung aus der Form der Geschwindigkeit, also aus der kinetischen Energie übergeführt wird in die radioaktive Energie der Gamma-Strahlen. Aus diesem Zusammenhange erklärt es sich auch, weshalb in keinem Radioelement bisher die Kombination der Alpha- und der Gamma-Strahlen vorgefunden worden ist, und daß man immer nur die Beta- und Gamma-Strahlen vergesellschaftet vorfindet, wozu in einigen Elementen die Alpha-Strahlen noch ergänzend hinzutreten. Für die Hypothese von Bragg scheint allerdings der Umstand zu sprechen, daß einzelne Radioelemente ausschließlich Beta- oder ausschließlich Gamma-Strahler sind, wodurch ein Hinweis gegeben ist, daß die Beta-Strahlen nicht notwendig Gamma-Strahlen erzeugen bezw. daß die Gamma-Strahlen nicht notwendig ein Produkt der Beta-Strahlen sind.

Das Durchdringungsvermögen richtet sich einmal nach der Größe der Strahlenteilchen und nach der Dichte des zu passierenden Materials. Je größer die Strahlenteilchen sind, desto größer wird die Reibung sein, die sie beim Durchdringen einer Substanz zu überwinden haben, desto geringer wird die Geschwindigkeit ihrer Fortpflanzung sein, desto geringer auch die Dicke der Substanz, die sie zu durchdringen vermögen, desto geringer auch endlich der Ionisationsbereich.

Am größten sind die Alpha-Teilchen, ihr Wirkungsbereich ist also auf sehr geringe Dimensionen beschränkt, aber innerhalb dieses Wirkungskreises können die Alpha-Teilchen ihre gesamte Energie aufwenden und werden demgemäß umso intensivere Erscheinungen hervorrufen. Es ist also in der Nähe einer Strahlensubstanz die Ionisation vorwiegend von den Alpha-Strahlen bedingt; weiter ab wird im wesentlichen die ionisierende Kraft der Beta-Strahlen in den Vordergrund treten, und zwar umso mehr, je dicker die Schicht der aktiven Substanz ist, während die von

den Gamma-Strahlen hervorgerufene Ionisation relativ geringfügig ist und nach Curie nur etwa 10 % der gesamten Ionisierung beträgt.

Ebenso wie die Durchdringungsfähigkeit ist auch die ionisierende Kraft der Strahlen von der Natur des Gases oder Gasgemisches abhängig, und zwar ist die Ionisation ungefähr der Dichte des Gases bezw. Gasgemisches proportional. Von keinem Einfluß ist dagegen die Temperatur: auch bei den niedrigsten erreichbaren Temperaturen bleibt die Strahlung unverändert bestehen und ebenso bei hohen Hitzegraden. Auch diese Beobachtung spricht für die atomare Beschaffenheit der Radioelemente, da es bisher nicht gelungen ist, die Eigenschaften der Atome durch Abkühlen oder durch Erhitzen innerhalb der bisher erreichten Temperaturgrenzen zu beeinflussen.

Die im Vorstehenden geschilderten Eigenschaften der Strahlen sind die im medizinischen Sinne wichtigsten. Das Studium der Radioaktivität hat außer diesen Erscheinungen noch eine Reihe weiterer Eigenschaften und Wirkungen der Strahlen festgestellt, die für den Chemiker und Physiker von größtem Interesse sind, dagegen für die therapeutische Anwendung nicht in Betracht kommen. Hierzu gehört z. B. die Erregung von Fluoreszenz auf bestimmten Substraten, z. B. dem Baryumplatinzyanür, gewissen Salzen der Alkalien und Erdalkalien, naphthionsaurem Natrium, Anthracen, Flußspat, Bergkristall, Papier, Baumwolle, Glas usw., und zwar vermögen alle drei Strahlengattungen Fluoreszenz zu erregen. Besonders gebräuchlich sind sogen. Leuchtschirme aus Baryumplatinzyanür, Sidotblende, Calciumsulfid, wie sie auch in der Röntgenologie verwendet werden.

Auf die Erscheinung der Szintillation sind wir bereits eingegangen.

Alle radiumhaltigen Baryumverbindungen leuchten spontan, und dieses Licht kann, besonders bei trocknen Halogensalzen, im Halbdunkel direkt beobachtet werden; genügend strahlende Präparate vermögen ein Licht auszusenden, bei dem man im Dunkeln eventuell lesen kann. In feuchter Luft ist die Luminiscenz geringer.

Huggins hat das Spektrum des Radiumlichtes photographiert und spezifische Banden und Linien aufgefunden; ebenso fand Giesel im Spektrum des Aktiniumlichtes gewisse Linien, die er allerdings als zu Didym gehörig betrachtet, mit dem das Aktiniumsalz verunreinigt war.

Auf die photographische Platte wirken stark radioaktive Substanzen sehr intensiv und zwar auf recht große Entfernung, z. B. Radiumstrahlen auf mehr als 2 m Entfernung; eine dazwischen geschaltete Aluminium- oder Glasschicht beeinträchtigt den radiographischen Effekt nicht.

Es gibt eine Reihe von Substanzen, die beim Erhitzen Licht ausstrahlen, z. B. Flußspath, Marmor, Apatit. Hat sich die Fähigkeit der Thermolumineszenz nach einiger Zeit erschöpft, so kann sie durch Radiumstrahlen wieder hervorgerufen werden. Bestrahlt man Glas mit Radium, so nimmt es eine besondere Färbung an und erleidet wahrscheinlich chemisch-physikalische Veränderungen, die sich auch dadurch dokumentieren, daß bei nachfolgendem Erhitzen das Glas die Färbung wieder verliert und gleichzeitig Licht ausstrahlt.

Eine interessante Beobachtung wurde von Barlow veröffentlicht. Dieser Autor stellte fest, daß tierische Gewebe und zwar speziell Niere und Leber, die er untersuchte, starke Einwirkungen auf die photographische Platte ausüben, sogen. skotographische Wirkungen. Diese waren weit weniger intensiv oder garnicht bei verschiedenen Versuchen mit Milz und Lunge zu beobachten. Auch verhielt sich das Gewebe des weiblichen Körpers aktiver wie das des männlichen. Ferner nimmt die skotographische Wirksamkeit des Lebergewebes mit dem Lebensalter zu und zwar bis zum 55. Lebensjahre mit einer Absenkung der Intensität zwischen dem 35. und 45. Lebensjahre. Dem Krebsgewebe kommt eine besonders hohe skotographische Fähigkeit zu und zwar eine höhere, wenn das Krebsgewebe von einer Frau stammte, als wenn es von einem Manne herrührte. Es ist dem Autor gelungen, den Träger dieser Strahlen aus dem Gewebe mit Aceton oder, nach vorheriger Behandlung mit Wasser, mit Aether zu extrahieren; diese Extrakte wirken als solche wie auch nach der Verdampfung der Flüssigkeit die Rückstände auf die photographische Platte. Die Wirkung erfolgt

rascher und stärker bei höherer Temperatur als bei niedrigerer und läßt mit dem Alter der Versuchsobjekte nicht nach. So zeigte ein über 100 Jahre alter Blasenstein noch eine kräftige skotographische Reaktion. Diese eigentümliche Fähigkeit ist auch bei gewissen Bakterienarten, besonders bei den Staphylokokken, den Tuberkel- und den Diphtheriebazillen nachzuweisen und beruht jedenfalls auf eigenartigen radiologischen Verhältnissen, die zwar noch nicht geklärt sind, aber vielleicht doch eine gewisse Verwandtschaft mit der echten Radioaktivität haben.

IV. Kapitel.

Die Methodik der Messungen.

Qualitative Untersuchung.

Zur qualitativen Prüfung, ob ein zur Analyse stehendes Material radioaktive Substanzen enthält, benutzt man die Eigenschaften der radioaktiven Elemente, auf die photographische Platte einzuwirken sowie auf bestimmten Materialien wie Baryumplatinzyanür oder Schwefelzink Fluoreszenzscheinungen hervorzurufen. Die auf diese Eigenschaften sich gründenden Untersuchungsmethoden kann man also mit Curie als radiographische oder fluoroskopische bezeichnen.

Becquerel war der erste, der die radiographischen Einwirkungen des Urans auf die photographische Platte an dem Urankaliumsulfat beobachtete. Setzt man nämlich eine photographische Platte der Einwirkung von Radium aus und entwickelt alsdann die Platte in gewöhnlicher Weise, so zeigt sie einen der Form des radioaktiven Materials entsprechenden Abdruck. Je nach der Intensität der Radiumstrahlen und der Menge der zu untersuchenden Substanz wird man letztere kürzere oder längere Zeit auf die Platte einwirken lassen, so daß in dem Verhältnis der zur Exposition verwandten Zeit zu der erzielten Wirkung immerhin ein gewisser quantitativer Hinweis gegeben ist, wenn auch natürlich auf diese Weise genaue Zahlen nicht gewonnen werden können.

Dasselbe gilt von den fluoroskopischen Methoden, wobei zu berücksichtigen ist, daß nur stark radioaktive Substanzen eine wahrnehmbare Fluoreszenz hervorrufen. Diese Methode erlaubt indes die Berechnung einer physikalischen sehr wichtigen Größe, nämlich der Zahl der von einem radioaktiven Körper ausgesandten Alpha-Partikel.

Wir haben bereits oben auf das Crookessche Spinthariskop hingewiesen, das darauf beruht, daß die auf eine Scheibe Sidotblende auftreffenden Alpha-Teilchen ein Aufleuchten verursachen. Diese Erscheinung bildet die Grundlage einer besonderen Zählmethode.

Auch spektroskopisch lassen sich die Radioelemente, so weit ihr Spektrum bekannt ist, indentifizieren.

Der roheste qualitative Versuch einer Ermittlung des Gehaltes einer Substanz an Radioelementen ist durch die direkte Beobachtung der Leuchtkraft im Dunkeln gegeben, wobei zu berücksichtigen ist, daß feste, wasserfreie Radiumsalze eine intensivere Leuchtkraft entfalten, wie feuchte bezw. an feuchter Luft befindliche.

Quantitative Methoden.

Für die Gewinnung genauer Zahlen eignen sich in erster Linie die elektrometrischen Methoden, in zweiter Linie die Messung der Wärmeentwicklung.

Die elektrometrischen Methoden beruhen auf der Eigenschaft radioaktiver Substanzen, durch ihre Strahlenemission Gase zu ionisieren, d. h. die Gasmoleküle, die sich dem elektrischen Strom gegenüber neutral verhalten, in negativ und positiv geladene Ionen zu zerlegen. Diese Zerlegung erfolgt umso intensiver, je stärker die radioaktive Strahlung ist, und weiterhin: je mehr Moleküle in der angegebenen Weise zerlegt werden, desto größer wird die Leitfähigkeit für den elektrischen Strom.

Naturgemäß erreicht die Ionisierbarkeit eines gewissen Gasquantums, mag nun ein einzelnes Gas oder ein Gasgemisch vorliegen, eine gewisse Grenze, die der Zahl der Gasmoleküle entspricht. Sind sämtliche in einem Volumen vorhandenen Gasmoleküle in ihre Ionen zerlegt, so hat auch die Leitfähigkeit für den elektrischen Strom bezw. die Intensität des Stromes, der eben noch geleitet werden kann, die Maximalgrenze erreicht. Man bezeichnet den elektrischen Strom, der von einer ionisierten Gasmenge eben noch geleitet werden kann, als den Sättigungsstrom.

Um also die Intensität der Strahlungen quantitativ zu messen, bestimmt man durch Messungen des elektrischen

Stromes den Grad der Ionisierung, die sich unter der Einwirkung des zu messenden Strahlenquantums vollzogen hat; der gefundene Wert gibt also eine Stromstärke an und wird in elektrostatischen Einheiten bezw. in dem Tausendfachen einer elektrostatischen Einheit, der sogen. Mache-Einheit, berechnet, während sich die Bezeichnung der Aktivität in Volt nach den vorhergehenden Darlegungen als unzulässig erweist, da Volt die Einheit für die Stromspannung ist.

Das Prinzip dieser quantitativen Untersuchungen beruht auf folgendem Schema.

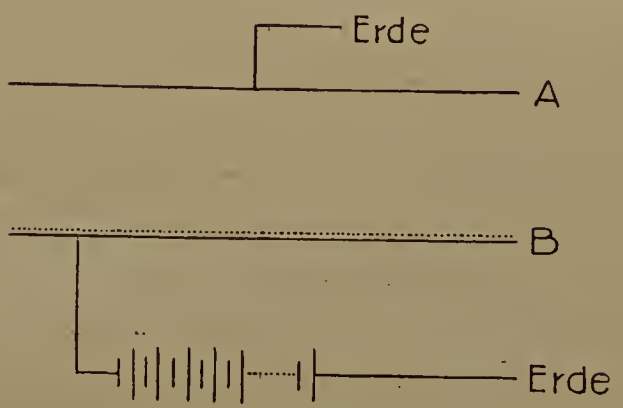


Fig. 6.

Man bringt die zu messende radioaktive Substanz auf die Platte B eines Kondensators, die durch Verbindung mit dem einen Pol einer Anordnung von Elementen elektrisch geladen ist, der andere Pol ist mit der Erde leitend verbunden. Die zweite Platte des Kondensators, die der ersten gegenüber liegt, ist ebenfalls mit der Erde leitend verbunden. Durch die Strahlung der radioaktiven Substanz ist die zwischen beiden Platten liegende Luft leitfähig geworden, so daß ein Stromkreis von der Platte B nach der Platte A begonnen und durch die beiderseitigen Ableitungen nach der Erde sowie durch die Erde selbst geschlossen wird. Dieser Strom wird gemessen, und seine Stärke entspricht der des Sättigungsstromes dann, wenn er entsprechend der Potentialdifferenz der beiden Kondensatorplatten einen Maximalwert erreicht hat. Zur Messung des Stromes dient entweder ein Elektroskop oder ein Elektrometer.

Naturgemäß muß bei diesen Untersuchungen in der Anordnung der Apparate, den zu wählenden Größenverhältnissen usw.

die Reichweite der Strahlen in Betracht gezogen werden, die bekanntlich verschieden ist, je nach der Strahlengattung sowie je nach der die Strahlen emittierenden Substanz.

Es mögen deshalb an dieser Stelle die Ionisationsbereiche für die verschiedenen Alpha-Strahler in cm Luft bei Zimmertemperatur in einer Tabelle von Mache und Meyer zusammengestellt werden.

Uran	(1,6?)	Radium	3,13	Radioaktinium	4,55	Thorium	ca. 2
	2,5	Radiumemanation	4,23	Aktium X	4.2	Radiothorium	„ 3,9
	2,9	Radium A	4,83	Aktniumemanat.	5,4	Thorium X	„ 5,7
Jonium	3,0	Radium C	7,05	Aktinium A	6,5	Thoriumemanation	„ 5,5
		Radium F (Polonium)	3,6	Aktinium C	5,1	Thorium C	„ 3
						Thorium C_2	„ 8.5

Zur Berechnung der Stromstärke dient die Formel

$$i = \frac{(v_1 - v_2) \cdot c}{300 \cdot t.}$$

wobei i die Stromstärke in elektrostatischen Einheiten, v die Spannung in Volt, c die Kapacität in cm und t die Zeit in Sekunden bedeutet.

Die elektrostatische Einheit entspricht der von 1 Liter Flüssigkeit gelieferten Aktivität und ist der Ausdruck für die Stärke des Stromes, der der in einem Liter Wasser oder Gas enthaltenen Menge Emanation entspricht. Man geht hierbei von einem Kondensator von 10—15 Liter Inhalt aus.

Der rechnerische Wert der elektrostatischen Einheit beträgt $3{,}33 \cdot 10^{-10}$ Ampère. Die Mache-Einheit ist das Tausendfache hiervon.

Zur Messung der Stromintensität dient

a) das Elektrometer,

b) das Elektroskop.

Beide Apparate kommen in verschiedenen Ausführungen und Anordnungen zur Verwendung.

Das Quadrantelektrometer.

Das Prinzip dieses Apparates ist aus der folgenden Abbildung ersichtlich.

Auf der Kondensatorplatte B befindet sich die radioaktive Substanz; die Platte ist mit dem einen Pol einer Batterie ver-

bunden und somit auf ein gewisses Potential gebracht, der andere Pol ist geerdet. Die gegenüberliegende Platte A ist mit dem Quadrantenpaar 1 verbunden. Das Quadrantenpaar 2 ist mit der Erde leitend verbunden. Die Nadel N, gleichfalls auf ein hohes Potential gebracht, befindet sich in der Gleichgewichtslage, wenn beide Quadrantenpaare geerdet sind, verläßt diese aber, wenn das Quadrantenpaar 1 isoliert ist. Nimmt nun das isolierte Quadrantenpaar 1 unter dem Einflusse der von der Radioaktivität der Auflage auf Platte B erzeugten Ionisation eine bestimmte

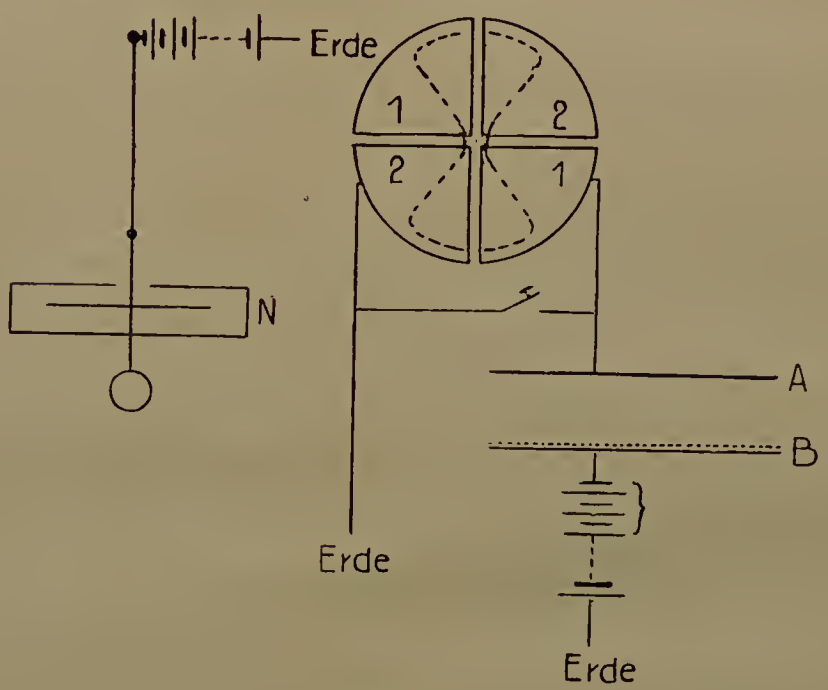
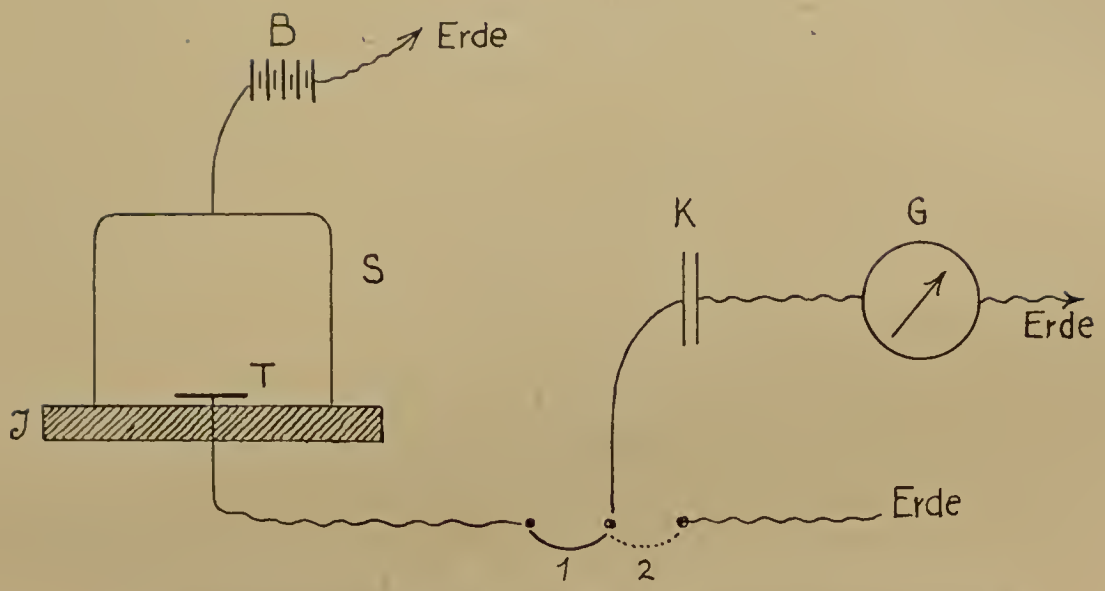


Fig 7.

Ladung an, so wird die Nadel in Bewegung gesetzt und zwar entsprechend dem Drehungsmoment der elektrischen Kräfte $= A. V. v$, worin A eine Konstante des Instrumentes ist, die die Veränderung der Kapacität der Nadel in bezug auf eins der Quadrantenpaare pro Einheit des Ausschlags angibt, V das Potential der Nadel, v das Potential des isolierten Quadrantenpaares bedeutet (C u r i e).

Durch Beobachtung des Ausschlags der Nadel wird die im Elektrometer vorhandene Kraft gemessen, die ihrerseits die Stromstärke des durch die Ionisation geschlossenen Kreises bedeutet. Die Ionisation wiederum läßt nun die Intensität der radioaktiven Strahlen erkennen.

Das Galvanometer.



J = Isoliermaterial (Paraffin), B = Hochspannungsbatterie,
K = Glimmerkondensator, G = Galvanometer.

Fig. 8.

Auf galvanometrischem Wege kann man die Intensität der Strahlungen nach vorstehender Figur, die die Anordnung erkennen läßt, messen und zwar muß man sich hierbei sehr empfindlicher Galvanometer bedienen (von Siemens & Halske, Hartmann & Braun usw.).

Elektrometer nach Th. Wulf.

Wie aus nachfolgender Abbildung ersichtlich, sind zwei Quarzfäden von einigen Zentimetern Länge und 0,001 mm Dicke zwischen dem Zerstreuungskörper Z und dem isolierten Quarzbügel Q so angeordnet, daß sie mit dem Zerstreuungskörper leitend verbunden sind und bei Ladung des Instrumentes sich bogenförmig abstoßen können. Der Zerstreuungskörper geht durch die Metallglocke A hindurch und kann von außen geladen werden. Der Luftraum der Metallglocke stellt also den Ionisationsraum dar; die Luftteilchen sind im gewöhnlichen Zustande nicht leitend, setzen also der Ableitung der Elektrizität vom Zerstreuungskörper ein Hindernis entgegen; falls aber Radiumstrahlen in die Luft der Ionisationskammer eintreten, so leitet die Luft die elektrische Ladung nach der Metallwand und von da

nach der Erde ab. Die Größe der Ladung wird durch die Größe der Abstoßung der beiden Quarzfäden veranschaulicht. Zum Beobachten dient ein Mikroskopokular. Die beiden Kondensator-

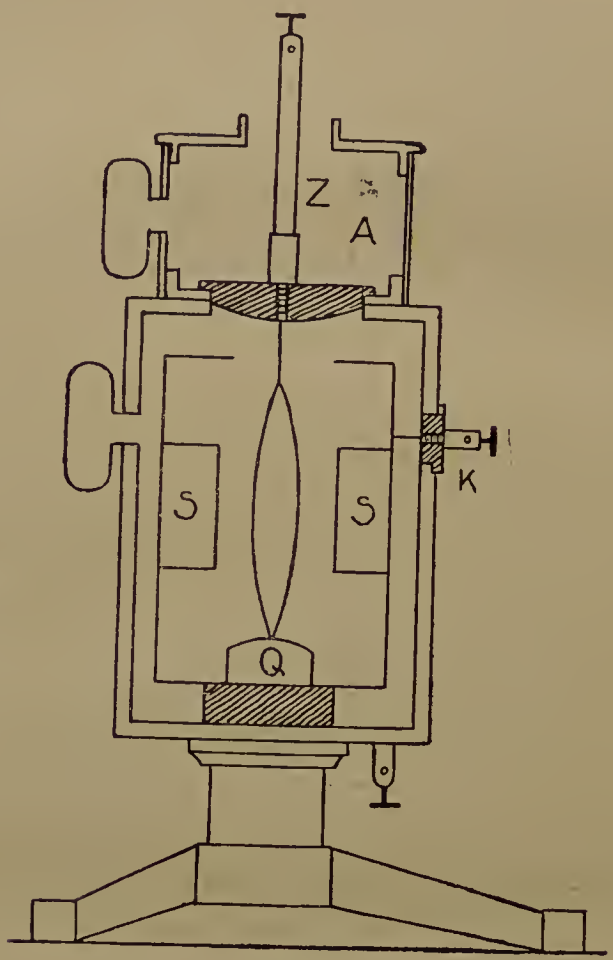


Fig. 9.

platten SS können durch eine Zuleitung elektrisch geladen werden und dienen so dazu, die Empfindlichkeit des Instruments je nach Bedarf abzuändern.

Das Elektroskop.

Die Leitfähigkeit eines ionisierten Gases, damit also die radioaktive Kraft der ionisierenden Substanz kann man auch mittels des Elektroskopes feststellen und messen. Wie jedes zur Messung der Radioaktivität bestimmte Instrument besteht auch das Elektroskop aus zwei Teilen, nämlich dem Ionisationsraum und dem eigentlichen Meßinstrument. Die Funktion eines Elektroskopes beruht bekanntlich auf dem Naturgesetz, das sich gleichnamige Elektrizität abstößt und ungleichnamige anzieht.

Das Instrument besteht dem Prinzip nach aus einem Metallstab, an welchem zwei Aluminiumblättchen befestigt sind; das ganze ist isoliert aufgehängt. Wird dem Metallstab eine Ladung zugeführt, so spreizen sich entsprechend der zugeführten Stromstärke die Blättchen. Ist die Umgebung trockene Luft, so wird die Elektrizität nur in ganz geringem Maße abgeleitet, und die Blättchen bleiben frei. Wird aber die umgebende Luft leitfähig, also z. B. durch Gegenwart eines ionisierenden Radioelements, so wird die Elektrizität alsbald abgeleitet und die Blättchen fallen zusammen und zwar um so rascher, je stärker das radioaktive Präparat ist und je näher es herangebracht wird.

Die Beobachtungen des Zusammenfallens der Blättchen geschieht bei den verschiedenen Apparaten mit Hilfe eines Mikroskopes oder eines Vergrößerungsglases oder einer sich spiegelnden Skala und wird zeitlich mit Hilfe einer Stoppuhr fixiert.

Eine beigegebene Tabelle oder Kurve zeigt an, wieviel Spannung aufgeladen werden muß, um einen bestimmten Grad der Spreizung der Blättchen zu erreichen.

Ein Elektroskop ist umso empfindlicher, je geringer seine Kapazität ist. Nach Brill übertrifft es das Spektroskop an Empfindlichkeit um das Tausendfache; es läßt sich noch eine Aktivität von 0,000 000 000 01 g Radium nachweisen.

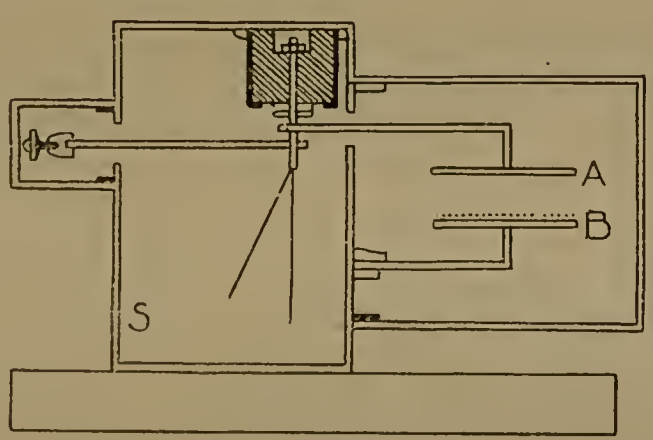


Fig. 10.

Das von P. Curie angegebene Elektroskop besteht aus einem Kondensator, dessen eine Platte das radioaktive Material enthält, und dessen andere Platte mit einem senkrecht angeordneten Metallstreifen in leitender Verbindung steht; am unteren Ende des Metallstreifens sind die beiden Folien aus Goldblatt oder Aluminium angebracht.

Das Elektroskop wird nun geladen, so daß sich die Blättchen spreizen, und es entsteht zwischen den beiden Kondensatorplatten ein elektrisches Feld, da die dazwischen befindliche Gasschicht durch die Radiumstrahlen leitfähig geworden ist; demgemäß entlädt sich das Elektroskop, und zwar um so rascher, je mehr Gasmoleküle zwischen den Kondensatorplatten ionisiert

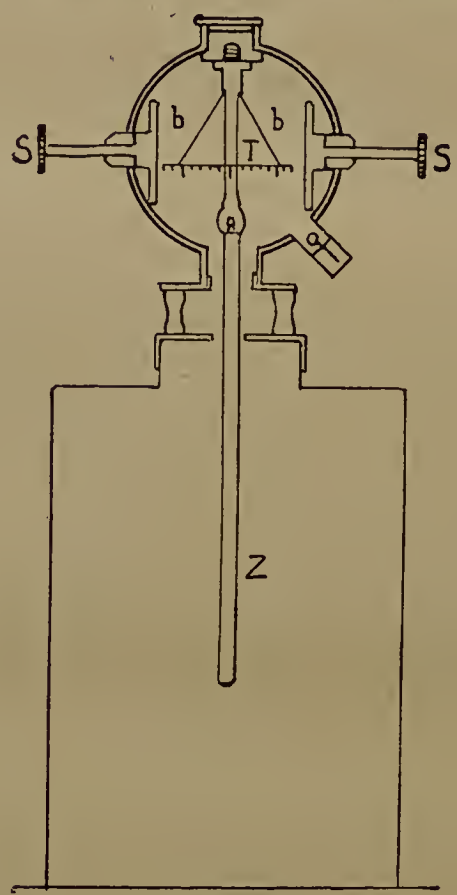


Fig. 11.

sind, d. h. je kräftiger das radioaktive Material ist. Die Bewegung der Folie wird mit einem entsprechend angeordneten Mikroskop beobachtet.

Bei dem von C. D. R. Wilson angegebenen Elektroskop befindet sich die radioaktive Substanz außerhalb des Gehäuses, so daß man es in der Hand hat, durch Einschaltung entsprechender Filter die verschiedenen Strahlengattungen auf ihre ionisierende Kraft zu untersuchen. An der Stelle, an der die Strahlen in das Innere des Apparates eindringen, ist ein sehr dünnes Aluminiumblech angebracht.

Das Fontaktoskop von Engler und Sieveking.

Das gebräuchlichste Meßinstrument, das auf dem Elektroskop beruht, ist das von Engler und Sieveking angegebene

Fontaktoskop, das speziell für Messungen der Emanation sich eignet. Das Instrument, dessen Konstruktion aus der vorstehenden Abbildung ersichtlich ist, besteht aus dem Elektroskop mit den beiden Aluminiumblättchen b und dem Zerstreuungsstab z, sowie einer in zwei Größen gelieferten Blechkanne, die entweder zwei oder zehn Liter Rauminhalt hat und den Ionisationsraum in sich birgt. SS sind zwei seitlich bewegliche Schutzbacken zum Schutz der Aluminiumblättchen in der Ruhezeit. T ist ein Metallstab, der mit dem Zerstreuungskörper leitend verbunden ist. Die Beobachtung geschieht durch eine Lupe, die Stellung der Blättchen wird an einer sich spiegelnden Skala von 40 Teilstrichen abgelesen.

Das Elektroskop wird auf die Meßkanne aufgesetzt, der Zerstreuungskörper ragt also in den Luftraum der Kanne hinein. Wird der Apparat geladen, so spreizen sich die Blättchen b und bleiben in dieser Stellung, falls die Luft in der Kanne auf die das Elektroskop aufgesetzt wird, nichtleitend ist. Ist dagegen die Luft ionisiert, so wird die Elektrizität von dem Zerstreuungsstab weggeleitet, und die Blättchen fallen entsprechend der Stärke der Ionisierung zusammen. Die Zeit dieser Reaktion wird durch eine Stoppuhr beobachtet.

Das Ionometer nach Greinacher.

Dieser Apparat erinnert in Konstruktion und Wirkungsweise an die vorstehend beschriebenen Instrumente von Curie und Wilson. Die Platte a ist mit dem einen Pol einer Batterie verbunden, während der andere Pol mit dem Gehäuse g leitend verbunden ist; b ist eine zweite Kondensatorplatte. Die zwischen den beiden Platten liegende Luft leitet, falls sie ionisiert ist, den Strom von a nach b und weiterhin nach dem Elektroskop e und dem Zerstreuungsstift z. Ist dieser Körper von nichtleitender Luft umgeben, so behält der Apparat seine Ladung und das Blättchen B bleibt gespreizt. Ist die umgebende Luft in K dagegen ionisiert, so fällt das Blättchen des Elektroskopes um so viele Grade zurück, bis der in k abgeleitete Strom im Gleichgewicht steht zu dem von der Batterie nachfließenden Strom.

Die Batterie im Gehäuse g hält 80—160 Volt, die beiden kreisförmigen Platten a und b sind auf den einander zugewandten

Seiten mit Uranoxyd überzogen, wodurch die dazwischenliegende Luft ionisiert wird. S ist eine Schutzbacke. Der Zerstreuungskörper z ist positiv geladen, um einen Niederschlag von induzier-

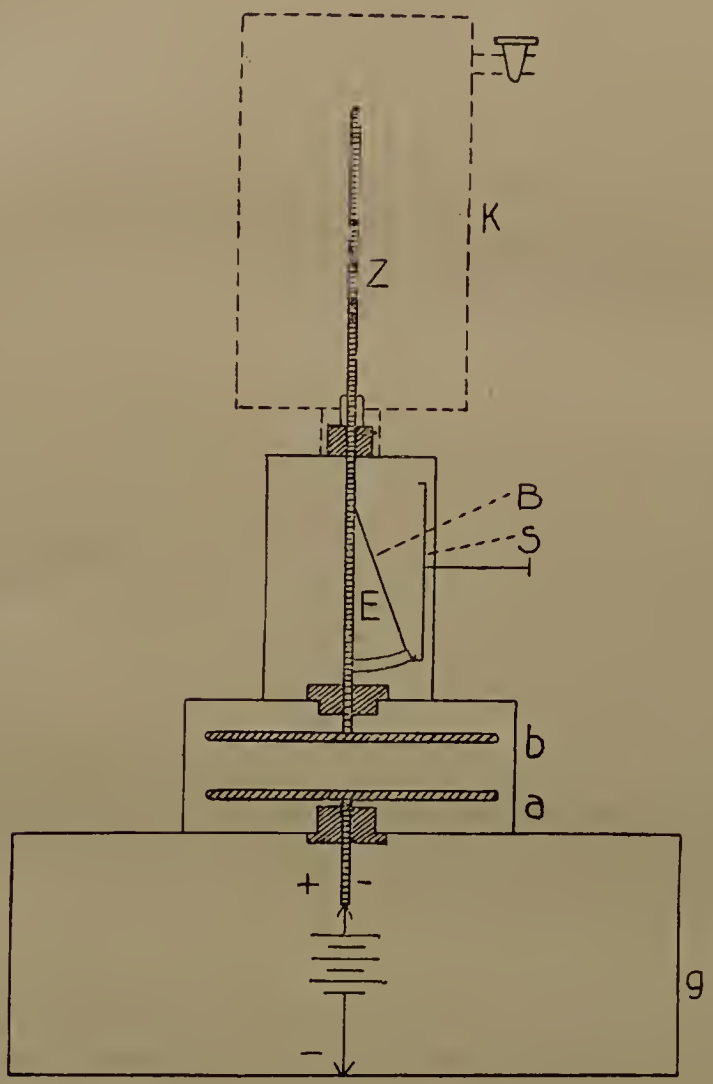


Fig. 12.

ter Aktivität zu verhindern. Der Luftwiderstand, der in einem luftdicht abgeschlossenen Gehäuse untergebracht ist, ist vollständig unabhängig von Barometer- und Temperaturstand und ist wegen der Beständigkeit des Uranoxyds unveränderlich.

Bei all diesen Messungen bedarf man natürlich zunächst eines Standardpräparates, dessen Radioaktivität für die Berechnung als Konstante anzusehen ist. Man bediente sich für diese Zwecke zunächst bestimmter Uranpräparate, benutzt aber neuerdings das Radium selbst und setzt folgende Konstanten an:

1 gr Radium emittiert pro Sekunde $3{,}4 \cdot 10^{10}$ Alpha-Partikel.

1 Alpha-Partikel des Radiums erzeugt auf seiner Bahn 153 000 Ionen, und jedes Ion trägt eine elektrische Ladung (Elementarquantum) von $4{,}65 \cdot 10^{-10}$ elektrostatischen Einheiten.

Der gesamte Strom, der den Alpha-Strahlen von 1 gr Radium entspricht, ist demnach $i = 3{,}4 \cdot 10^{10} \cdot 1{,}53 \cdot 10^{5} \cdot 4{,}65 \cdot 10^{10} = 2{,}42 \cdot 10^{6}$ E.St.E. oder 0,807 Milliampère.

Messung mittels der Gamma-Strahlenmethode.

Je nach der Versuchsordnung kann man die durch die Alpha- oder Beta-, wie auch durch die Gamma-Strahlen erzeugte Ionisation durch Bestimmung des geleiteten Stromes messen. Man bevorzugt die Messung der Gamma-Strahlen bei stark radioaktiven Körpern, während man schwächere Radioelemente nach den Alpha- und Beta-Strahlen bestimmt. Das Standardpräparat benutzt man zum Vergleich der jeweils gewonnenen elektrometrischen oder galvanometrischen Ausschläge.

Man bringt die zu messende Substanz in ein emanationsdicht abgeschlossenes Glasgefäß. Zur Messung der Gamma-Strahlen kann man sowohl das Elektrometer nach Wulf wie das Fontaktometer benutzen. Zwischen Apparat und Substanz muß eine Bleischicht von etwa ½ cm Dicke zwischengeschaltet werden und zwar wird das Präparat unmittelbar hinter die Bleischicht gebracht, während das Meßinstrument etwa 20 cm entfernt sein kann. Zunächst ist der Normalabfall zu bestimmen, d. h. der Abfall der Blättchen des Elektroskopes unter gewöhnlichen Verhältnissen in einer gewissen Zeit. Die Aichung von Standardpräparaten erfolgt an den auf Grund internationaler Vereinbarungen in Paris von Curie und in Wien von Hönigschmidt niedergelegten Radiumpräparaten.

Nach Berechnung des Normalabfalles bringt man an die Stelle des Standardpräparates das zu prüfende Salz und bestimmt mit der Stoppuhr die Zeit, nach der sich das oder die Blättchen um bestimmte Grade bewegt haben. Von dem gefundenen Wert wird der Normalabfall abgezogen und der Gehalt des Präparates nach der Formel $\frac{S \cdot V}{V_1}$ berechnet, wobei S den Gehalt des Standardpräparates an Radiumbromid in Milli-

grammen, V_1 den durch das Standardpräparat erzeugten Voltabfall und V den durch das zu bestimmende Präparat erzeugten Voltabfall bedeutet.

Diese Messungen sind in Zwischenräumen dreimal zu wiederholen und der Mittelwert zu ziehen, dann ist nach 4 Tagen die ganze Messung wiederum vorzunehmen. Nach je 4 Tagen ist die Stärke eines Radiumpräparates rund um die Hälfte des Wertes gestiegen, den es in der weiteren Zeit des Reifens noch steigen könnte (Kohlrausch). Demnach ist aus der Differenz der beiden gefundenen Zahlen der Endwert des zu untersuchenden Präparates zu berechnen.

Die Gamma-Strahlung erreicht, wenn man von einem völlig reinen, also von Emanation bezw. ihren Zerfallsprodukten befreiten Präparat ausgeht, nach ca. 4 Wochen das Maximum ihrer Intensität und diese ist alsdann im praktischen Sinne konstant und der Menge des vorhandenen Radiums proportional.

Nach Rutherford ist die Kurve des Anstieges der Aktivität eines Präparates komplementär zu der Kurve des Zerfalls der Emanation, und es bestehen folgende Beziehungen.

Zeit in Tagen	Anstieg der Gamma-Aktivität des Radiums	Abklingen der Gamma-Aktivität der Emanation
0	9	100
1	16,5	83,5
2	30,2	69,8
3	41,7	58,3
3,85	50,0	50,0
4	51,3	48,7
5	59,3	40,7
6	66,0	34,0
8	76,3	23,7
10	84,2	15,8
15	93,3	6,72
20	97,27	2,73
25	98,89	1,11
30	99,55	0,45
40	99,93	0,07
50	99,99	0,01

Messungen mittels Wärmeentwicklung.

Ein Radiumsalz hat stets eine höhere Temperatur wie seine Umgebung; diese Tatsache beruht darauf, daß bei der Emission von Strahlen beständig Wärme frei wird, und zwar hängt die Größe der Temperaturdifferenz von der Wärmeisolierung der Substanz ab. Es ist verständlich, daß die von der Maßeinheit Radium in der Zeiteinheit abgegebene Wärmemenge eine wichtige Konstante ist. Diese zu ermitteln, haben Curie und Laborde verschiedene Methoden angewendet und dabei gefunden, daß von 1 gr Radium in einer Stunde eine Wärmemenge von 100 Kalorien entwickelt wird; Angström fand auf kalorimetrischem Wege 117 Kalorien und v. Schweidler und Heß 118 Kalorien, während Meyer und Heß 132,3 Kalorien fanden. Auf dem Wege der Berechnung ermittelten Mache und Meyer 132,1 Kalorien. Unter der Voraussetzung, daß die mittlere Lebensdauer des Radiums ungefähr 2900 Jahre beträgt, würde ein Gramm Radium bis zu seinem vollständigen Zerfall ungefähr $2{,}9 \cdot 10^9$ Kalorien entwickeln, das ist eine Wärmemenge, die man durch Verbrennung von etwa 500 kg Kohle oder 70 kg Wasserstoff erzeugen könnte (Curie).

Im radioaktiven Gleichgewicht stammen etwa 75 Prozent der gesamten vom Radium entwickelten Wärme von der Emanation und dem aktiven Niederschlag. Die von Uranium oder vom Thorium entwickelte Wärmemenge ist weit geringer als die des Radiums; sie beträgt nach Boltwood $1{,}6 \cdot 10^{-5}$, nach Mache und Meyer $1{,}4 \cdot 10^{-5}$ Kalorien in der Stunde pro Gramm Uranmetall. Aehnliche kleine Werte ergeben sich für die von 1 gr Aktinium entwickelte Wärme.

Die von Curie und Laborde angewandte Meßmethode besteht darin, daß zwei Glasröhrchen, von denen das eine mehrere Dezigramme eines reinen Radiumsalzes, das andere eine beliebige inaktive Substanz enthält, in zwei gleich große Dewargefäße gestellt werden und der Temperaturunterschied in den beiden Gefäßen bestimmt wird. Dieser Unterschied ist schon durch ein gewöhnliches Thermometer festzustellen. Eine andere Methode besteht darin, mittels der abgegebenen Wärme ein verflüssigtes Gas unter Atmosphärendruck verdampfen zu lassen und

das Volumen des entweichenden Gases zu messen (Curie und Dewar).

Angström brachte 86,5 mg Radiumbromid, das in ein Glasgefäß eingeschlossen war, in einen dickwandigen Metallblock. Ein zweiter gleicher Hohlzylinder nahm eine Manganindrahtspule auf, die mit einem elektrischen Strom beschickt wurde, und zwar wurde der Strom so lange reguliert, bis beide Metallzylinder gleiche Temperatur hatten.

v. Schweidler und Heß benutzten ein Kalorimeter aus Kupfer nach der gleichen Methode wie Angström. Sie arbeiteten mit einem ganzen Gramm Radiumchlorid und fanden eine Temperatursteigerung von 5,5 Grad.

Emanationsmessung.

Die Messung der Emanation ist auf dem Gebiete der Medizin besonders wichtig für die Untersuchung von Quellwässern oder auch von aus therapeutischen Gründen künstlich mit Emanation angereicherten Wässern, wie auch für die Untersuchung der Luft in Kurorten, Emanatorien usw.

Auch die Emanation wird in Macheeinheiten oder in elektrostatischen Einheiten angegeben. In England ist es üblich, diejenige Radiummenge in Gewichtsmengen als Maß für die Emanation anzugeben, die die betreffende Emanationsmenge, ihren Zerfall ausgeschlossen, nach unendlich langer Zeit anzuhäufen vermag (Radiumäquivalent). Zur weiteren Präzisierung dieser Maßeinheiten bezeichnet man seit dem radiologischen Kongreß in Brüssel 1910 diejenige Emanationsmenge, die sich mit einem Gramm Radiummetall im Gleichgewicht befindet, als ein „Curie", die mit einem Milligramm metallischem Radium im Gleichgewicht stehende Emanationsmenge als ein „Millicurie" und die einem Tausendstel Milligramm entsprechende Emanationsmenge als ein „Mikrocurie"; für diese letzteren Meßmethoden ist das Vorhandensein einer Normallösung erforderlich.

Bei der Messung der Emanation ist zu berücksichtigen, daß sie beständig weiter zerfällt und daß sich diese Zerfallsprodukte an den Wandungen der Meßgefäße absetzen. Man berechnet das dem aktiven Niederschlag entsprechende Aequivalent an

Emanation entweder durch Messung des Abfalles der induzierten Aktivität oder durch Addition von 3 % der nach 3½ Stunden gemessenen Emanationsmenge zu dieser letzteren Größe.

Man bedient sich in der Regel des Elektroskops, um den durch die Anwesenheit der Emanation erzeugten Voltabfall zu bestimmen, und daraus wiederum den Rückschluß auf die Dichte der Emanation zu machen. Stets ist bei diesen Maßnahmen der sogenannte Normalabfall zu bestimmen, was dadurch geschieht, daß man dem Elektroskop eine Ladung gibt und dann am besten nach 6 Minuten feststellt, wieviel die Blättchen von ihrer Ladung verloren haben.

Handelt es sich darum, den Emanationsgehalt eines geschlossenen Raumes, z. B. eines Emanatoriums zu bestimmen, so wird bei Verwendung des Fontaktoskopes die Meßkanne zunächst bis zum Rande mit Wasser gefüllt, in dem emanationshaltigen Raume ausgegossen, wobei sie sich mit der aktiven Luft füllt, dann mit einem Stopfen versehen. Nach etwa 7 Minuten wird das Elektroskop aufgesetzt, wobei infolge unvorsichtigen Manipulierens ein Teil der Emanation entweichen kann, und nun liest man nach weiteren 3 Minuten die Stellung der inzwischen aufgeladenen Blättchen ab. Nach diesen 10 Minuten bis zur 20. Minute bleibt der Wert etwa der gleiche, während vorher infolge der gebildeten Zerfallsprodukte ein Anstieg des Wertes erfolgte; ebenso tritt dieser wieder ein nach der 20. Minute. Diese zweite Periode des Anstieges hält an bis zur dritten Stunde, worauf wiederum ein gleichmäßiges Stadium eintritt, weil sich die Emanation bis etwa zur 5. Stunde mit dem radioaktiven Niederschlag im Gleichgewicht befindet.

Von dem Ergebnis der Beobachtung, die also nicht allein die Emanation, sondern auch in der Zeit bis zur Beobachtung gebildeten Zerfallsprodukte mit betrifft, ist der Normalverlust abzuziehen und dieser Wert bei Verwendung einer Zweiliterkanne durch zwei zu dividieren. Der Maximalwert wird nach drei Stunden erreicht, und von diesem Endwert sind nur 40 % auf die Wirkung der Emanation zurückzuführen; nach 10 Minuten beträgt der gefundene Wert etwa 70 % des Endergebnisses.

Um in Flüssigkeiten, die ein Radiumsalz in Lösung enthalten, die Emanation zu bestimmen, mißt man eine bestimmte

Menge in einen Glaskolben und kocht etwa 10 Minuten, damit alle Emanation vertrieben wird. Alsdann schmilzt man den Kolben zu und läßt 4 Tage stehen. Oder man bringt das abgemessene Quantum der zu untersuchenden Lösung sofort nach dem Auskochen in die Meßkanne, die man sofort verschließt; auch dann erfolgt die Beobachtung nach 4 Tagen, und zwar deshalb, weil sich in dieser Zeit die Hälfte der dem Gleichgewichtszustand entsprechenden Emanation gebildet hat. Der Gleichgewichtszustand, bei dem sich aus dem Radium ebensoviel Emanation bildet, als durch Zerfall an Emanation verloren geht, tritt nach ca. vier Wochen ein.

Bevor man die zu untersuchende Flüssigkeit in die Meßkanne bringt, ist der Normalabfall zu bestimmen. Hat man die Flüssigkeit in den Glaskolben eingeschmolzen, so muß dieser in der Meßkanne zerschlagen werden. Man schüttelt kräftig, damit die Emanation aus der Flüssigkeit entweicht, und liest nach 3 Stunden ab. Das Resultat ist nach den obigen Darlegungen mit 2 zu multiplizieren.

Die Bestimmung der Radioaktivität der Quellen.

Die Radioaktivität der Quellen setzt sich zusammen aus:

1. der im Wasser gelösten sowie der aus dem Wasser in die Luft übergegangenen Emanation,
2. der in den Quellgasen enthaltenen Emanation, die außer vom Radium auch vom Thorium und Aktinium herstammen kann,
3. den im Quellwasser gelösten radioaktiven Salzen,
4. den in den Sedimenten enthaltenen radioaktiven Substanzen.

Die Bestimmungen der Radioaktivität werden am besten an Ort und Stelle vorgenommen; doch hat Greinacher eine Methode angegeben, um die Untersuchungen auch im Laboratorium auszuführen, wenn eine Hinreise an den Quellort nicht tunlich erscheint. Außerdem ist es erforderlich, an verschiedenen Stellen des Quelllaufes Proben zu entnehmen und zu untersuchen, da vielfach das Quellwasser nicht sogleich nach dem Ausströmen aus der Erde verwendet wird, sondern bis zum Orte des

Verbrauches eine kürzere oder längere Strecke zurücklegen muß; der Emanationsgehalt des Quellwassers nimmt hierbei ab. Man wird also mindestens am Ursprung der Quelle und an der Verbrauchsstelle Proben entnehmen, wobei maßgebend für die medizinische Beurteilung der an der Verbrauchsstelle gefundene Emanationsgehalt ist.

Die Bestimmung wird gewöhnlich mittels des Fontaktoskopes von Engler und Sieveking vorgenommen, indem man in die Meßkanne mit einem Rauminhalt von 2 oder 10 Litern, nachdem man den Normalabfall bestimmt hat, unter den nötigen Kautelen eine bestimmte Menge des zu untersuchenden Quellwassers hineingießt; besonders ist darauf zu achten, daß beim Einbringen der Flüssigkeit keine Emanation verloren geht. Alsdann wird die Kanne mit dem beigegebenen Gummistopfen fest verschlossen und eine Minute lang kräftig geschüttelt. Darauf wird nach Verlauf von drei Stunden das Elektroskop aufgesetzt, mittels einer Zambonisäule oder durch Reiben mit einem Hartgummistab geladen und der Abfall bestimmt. Da der Absorptionskoeffizient der Radiumemanation in Wasser gegen Luft 0,23 beträgt, muß er bei größeren Mengen Wasser in Rechnung gestellt werden. Des ferneren sind die genauen Berechnungen, die durch Zerfall zu Verlust gehende Emanationsmenge zu berücksichtigen. Derjenige Teil der Emanation, der sich dicht an der Kannenwandung befindet, entzieht sich der Messung und muß nach der Formel von Duane

$$c = \frac{1}{1 - 0{,}52} \cdot \frac{o}{v}$$

ausgeglichen werden, wobei c der Korrektionsfaktor ist, o die Oberfläche des Ionisationsraumes und v das Volumen. Für die 10 Liter-Kanne beträgt der Korrektionsfaktor 1,134, eine Höhe von 30 cm und ein Radius von 5,12 cm vorausgesetzt.

Nach dieser Beschreibung sieht die Messung ziemlich einfach aus, sie erfordert jedoch eine tüchtige Einübung, damit die mannigfachen Fehlerquellen sorgsamst vermieden werden. Es ist bei den Messungen auch immer anzugeben, ob reine Emanation gemessen wurde oder (nach Verlauf von drei Stunden) die Emanation im Gleichgewicht mit den Zerfallsprodukten.

Das gefundene Resultat wird in M.-E. ausgedrückt, die man nach der folgenden Formel findet.

$$\frac{\text{Voltabfall / Stunde / Liter}}{300} \times \frac{\text{Kapazität}}{3600} \times 10^3$$

Nach dem Verfahren von Greinacher, das die Möglichkeit bezweckt, die Untersuchungen im Laboratorium entfernt von der Quelle vorzunehmen, wird ein luftleergepumpter, genau gewogener Glas-Kolben an den Quellort gesandt, derselbe unter Wasser gefüllt, sorgfältig verschlossen und an das Laboratorium eingesandt. Die Zeit der Entnahme muß exakt angegeben werden.

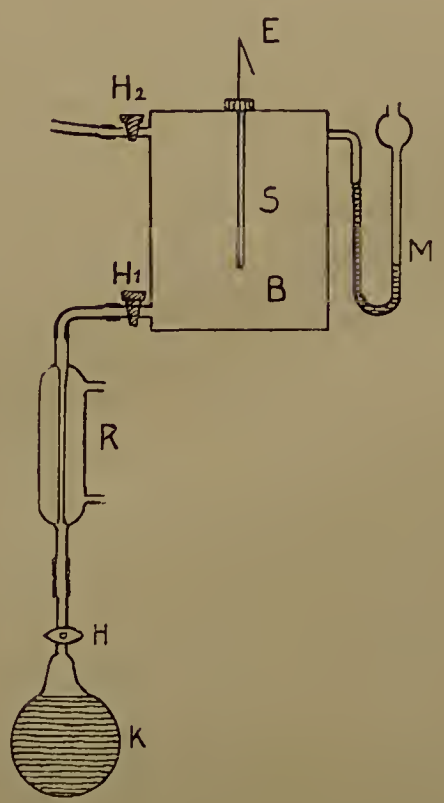


Fig. 13.

Im Laboratorium wird nach genauer Bestimmung der Gewichtsmenge des eingesandten Wassers der Kolben mit dem Fontaktometer nach Mache und Meyer luftdicht in Verbindung gebracht. Die Apparatur ist aus nachstehender Figur ersichtlich, worin K den Kolben, R den Rückflußkühler, B den Ionisationsraum des Fontaktometers, E das Elektroskop, S den Zerstreuungsstab, M ein Manometer und H, H^1, H^2 je einen Hahn bezeichnet. Die Kanne des Fontaktometers wird bis auf 20 cm Unterdruck evaku-

iert, wobei die Luftpumpe an den Hahn H^2 angeschlossen wird, während H^1 geschlossen ist. Alsdann schließt man H^2 und öffnet den Hahn H. Zum Austreiben der Emanation aus der Flüssigkeit erhitzt man diese, indem man gleichzeitig den Rückflußkühler in Tätigkeit setzt. Nach ¼ bis ½ Stunde, während welcher Zeit die Flüssigkeit kochen soll, wird der Hahn H^1 geöffnet, der Rückflußkühler abgestellt, und nun tritt die Emanation in die Kanne des Elektrometers über, indem sie vom Wasserdampf mitgeführt wird. Im geeigneten Augenblick wird der Brenner entfernt, der Hahn H^1 geschlossen und der Schlauch von H^1 abgenommen. Während der ganzen Prozedur soll das Manometer Unterdruck zeigen; zum Ausgleich desselben ist nach beendigtem Kochen H^1 zu öffnen.

Der so gefundene Wert muß natürlich entsprechend der zwischen Abfüllung des Quellwassers und Messung der Emanation vergangene Zeitraum umgerechnet werden; man kann hierzu die Tabellen benutzen, die in dem ausgezeichneten Buche von Curie „Die Radioaktivität" enthalten sind.

Ist in dem Quellwasser Radiumsalz außer der Emanation gelöst, so muß das ganze Verfahren, beginnend mit dem Aufkochen des Kolbens, nach einem bis zwei Tagen nochmals ausgeführt werden, um die in diesem Zeitraum neuentstandene Emanationsmenge zu gewinnen; der gefundene Wert, umgerechnet nach den Curieschen Tabellen, läßt dann die Berechnung der vorhandenen Radiummenge zu.

Die Untersuchung der Quellgase erfolgt ebenfalls mittels Fontaktometers, und zwar ist eine Analyse des evtl. vorliegenden Emanationsgemisches mit Hilfe der Abklingungskurven anzustellen, die entsprechend der Verschiedenheit der Lebensdauer der Emanation eine verschiedene Gestalt haben.

Die Untersuchung radioaktiver Quellsedimente erfolgt nach der bereits beschriebenen Gammastrahlenmethode. Will man in festen Radiumpräparaten die Emanation bestimmen, so muß man das Salz auflösen, da die Emanation von festen Radiumsalzen nur in geringer Menge abgegeben wird, während sie aus der Lösung durch Hindurchleiten eines Luftstromes oder durch Schütteln, wie oben angegeben, sich entfernen läßt. Im Gegensatz zu den Radiumsalzen geben feste Thorium- und Aktinium-

salze die Emanation leicht ab. — In Badeorten findet vielfach die Geitelsche Zirkulationsmethode Verwendung, die darin besteht, daß Luft durch die zu untersuchende emanationshaltige Flüssigkeit hindurchgepreßt wird und in das Meßgefäß hineingelangt, wobei nur ein geringer Teil der gelösten Emanation in der Flüssigkeit zurückbleibt.

Die Bestimmung der Emanationsmenge als Maß der vorhandenen Radioaktivität hat gegenüber den Messungen der Wärmeenergie oder Strahlungsenergie den Vorteil der größeren Genauigkeit. Mittels der Emanationsmethode lassen sich noch 10^{-12} gr Radium bestimmen (Mache und Meyer). Es ist ferner zu berücksichtigen, daß bei der Messung der Strahlungs- und Wärmeenergie feste radioaktive Substanzen immer auf die von beigemengtem Thorium oder Aktinium herrührende Energie mitgemessen wird, während dies bei der Messung der Emanation wegen der Kurzlebigkeit der Thorium- und Aktiniumemanation nicht der Fall ist.

V. Kapitel.

Die biologischen Wirkungen der Radioaktivität.

Wir haben bereits gesehen, daß die Radiumstrahlen bezw. die Thorium- und die Aktiniumstrahlen in der unorganischen Natur eine Reihe von spezifischen Wirkungen hervorrufen, deren Summe eine wichtige Komponente der Radioaktivität ausmacht. Die zweite wichtige Komponente ist der Einfluß der Radioaktivität auf die organische Natur. Dieser Einfluß ist speziell auch die Grundlage für die Anwendung der Radioelemente in der Medizin, und sie ist deshalb besonders von ärztlichen Forschern nach den verschiedenen Richtungen hin ergründet worden. Die Untersuchungen richten sich im wesentlichen auf das Verhalten der Radioelemente gegenüber denjenigen Substanzen, die zum menschlichen Körper in Beziehung treten, vor allem auf diejenigen Bestandteile, die die tierische Zelle bilden und ihr Leben unterhalten. Es sind in dieser Hinsicht sowohl die Wirkungen untersucht, die an ungeformten Elementen und Bausteinen des Körpers, wie z. B. den Fermenten, festzustellen sind, wie auch das Verhalten der geformten Körperelemente, also der einzelnen Zellspezies. Ferner liegen die Untersuchungen über die Veränderungen der Embryonalstadien gewisser Tiergattungen vor, ebenso über das Verhalten niederer Pflanzen und Tiere als reife Organismen.

Hierbei steht in der Regel die Wirkung der Strahlung im Vordergrunde, aber auch die Einwirkung der Emanation, die z. T. ebenfalls auf der Abgabe von Strahlen beruht, hat ein vielseitiges Interesse, besonders deshalb, weil die Emanation des Radiums bei einer Reihe von Krankheiten einen außerordentlich segensreichen Einfluß ausübt. Bei den Untersuchungen der Strahlenwirkung ist vielfach sowohl die Gesamtstrahlung wie auch jede Strahlengattung isoliert berücksichtigt worden.

Im Jahre 1903 veröffentlichte Schwarz seine Beobachtungen über den Einfluß der Radiumstrahlen auf das Hühnerei und gab somit einen wirksamen Anstoß, eingehende Untersuchungen über die biologische Wirksamkeit der Radioaktivität anzustellen. In der Folge hat sich eine außerordentlich reichhaltige Literatur über diesen Gegenstand angesammelt, an Hand deren wir im Folgenden eine Uebersicht über die gefundenen Tatsachen, soweit dieselben für unsere Zwecke wichtig erscheinen, geben wollen.

A. Einwirkung auf die Fermente.

Die moderne Forschung hat uns gelehrt, daß die Fermente im Körperhaushalt eine überaus wichtige Rolle spielen, ja daß die Stoffwechselvorgänge ohne Ausnahme von der Anwesenheit dieser zumeist ungeformten Funktionäre abhängig sind. Nicht nur im normalen Leben, sondern auch in krankhaften Zuständen finden wir allenthalben Fermente in Tätigkeit, und zwar ist diese Tätigkeit immer eine spezifische, es kann von einem Fermente immer nur ein oder genauer noch sein spezieller biologischer Vorgang eingeleitet und unterhalten werden.

Falls also die Radiumstrahlen oder die Emanation eine Einwirkung auf die Fermente erkennen lassen, so ist damit ein wichtiger Faktor zur Erklärung einer bei gewissen Zuständen beobachteten Heilwirkung der Radioaktivität gegeben.

Die Untersuchungen mit Radiumstrahlen haben im allgemeinen zu dem Ergebnis geführt, daß ein Einfluß auf die bekanntesten, hinsichtlich ihrer Beeinflußbarkeit am leichtesten zu kontrollierenden Körperfermente nicht nachzuweisen ist. Es kamen hauptsächlich die Beta- und Gammastrahlen des Radiums zur Wirkung, da in der Regel das Radiumpräparat in eine Kapsel mit Glimmerverschluß oder in ein Glasgefäß eingeschlossen war, so daß die Alpha-Strahlen okkludiert wurden.

Untersucht wurden Pepsin (London), Labferment (Henri und Mayer), Trypsin (Bergell und Braunstein sowie Danysz) und das autolytische Ferment (Neuberg, Wohlgemuth, Pohl, Bickel). Beim Trypsin wurde ein Einfluß auf den Ablauf der Verdauung durch Zusatz von Radiumbromid beobachtet. Nach Neuberg, der einen

Brei aus Leberkarzinom unter Innehaltung einer bestimmten Versuchsordnung bestrahlte, wurde eine Aktivierung der autolytischen Fermente beobachtet. Dasselbe Ergebnis hatten die Versuche von Wohlgemuth, der tuberkulöses Lungengewebe bestrahlte. Auf das Pepsin und das Labferment fand eine Beeinflussung nicht statt.

Bickel untersuchte nun gemeinsam mit Minami die Einwirkung der Beta- und Gammastrahlen des Mesothoriums auf die angeführten Fermente Diastase, Pepsin, Trypsin und das autolytische Ferment. Das Ergebnis war, daß die Beta- und Gamma-Strahlen des Mesothoriums höchstens einen geringfügigen und wahrscheinlich öfters nur vorübergehenden Einfluß auf die Verdauungsfermente erkennen lassen und daß dieser Einfluß nicht im eindeutigen Sinne erfolgt, sondern bald als eine Aktivierung, bald als eine Hemmung der Fermentwirkung in die Erscheinung tritt.

Zur Prüfung des Verhaltens der autolytischen Fermente gegenüber den Beta- und Gamma-Strahlen des Mesothoriums ließen die beiden Autoren 30 mg Mesothoriumbromid auf Karzinom-, Sarkom- und normales Lebergewebe einwirken; das Präparat war in einem dickwandigen Glasbehälter eingeschmolzen. Auch diese Versuche ergaben ein negatives Resultat. Eine Beeinflussung fand nicht statt.

Bickel zieht aus diesen Feststellungen den weiteren Schluß, daß die von anderen Autoren (Neuberg, Wohlgemuth, Bergell und Braunstein, Danysz usw.) beobachtete Aktivierung der Fermente und zwar speziell des tryptischen und des autolytischen Fermentes durch Radium ausschließlich eine Wirkung der Emanation und der Alpha-Strahlen sei, die nicht sicher genug ferngehalten worden seien; bei Bickels Versuchen waren Emanation und Alpha-Strahlen vollkommen abgeschlossen.

Sonach dürfen wir annehmen, daß sich die bisher untersuchten Fermente den Beta- und Gamma-Strahlen der Radioelemente gegenüber indifferent verhalten.

Anders die Emanation. Bergell und Braunstein wiesen nach, daß die Verdauungskraft des pankreatischen Fermentes durch Hinzufügen von emanationshaltigem Wasser im

Reagenzglase gefördert wird. In Analogie zu diesem Befund wiesen Bergell und Bickel eine die Sekretion und die verdauende Kraft des Magensaftes anregende Wirkung von emanationshaltigem Wasser nach. Diese Befunde wurden von Edelstein und Löwenthal, die eine Förderung der Autolyse beobachteten, sowie von Löwenthal und Wohlgemuth, die zunächst eine Hemmung, sodann eine Beschleunigung der verdauenden Kraft der Diastase feststellten, bestätigt. Die Autolyse in der Leber wird durch Radiumemanation in den ersten vier bis fünf Tagen gesteigert, und zwar ist sie bei pneumonischer Lunge größer als bei normaler und noch stärker bei Sarkom- und Karzinombrei.

Weil untersuchte die Einwirkung von Radiumemanation auf die Verdauungsfermente und fand, daß bei Anwendung der Jakoby-Solmsschen Rizinmethode die Aufstellung bei Gegenwart von Emanation erfolgte, wenn viermal weniger von der Magensaftverdünnung hinzugegeben war, als ohne Emanation nötig war. Die Einwirkung der Emanation auf das Trypsin äußerte sich in einer Aktivierung in der ersten halben Stunde des Verdauungsprozesses, später war sie nicht mehr nachzuweisen. Eine Erhöhung der proteolytischen Leukozytenfermente konnte nach der Methode von Jochmann-Müller weder beim normalen noch beim Leukämikerblute nachgewiesen werden.

Augenscheinlich spielt doch die Dosis der zu den Experimenten verwandten Emanation mindestens eine gewisse Rolle. Wenigstens ist dieser Schluß gestattet, wenn die Beobachtung von Olszewski zutreffend ist, daß die Radiumemanation in der Konzentration, wie sie die Radiogenemanatoren lieferten (2—4 Macheeinheiten pro Liter), die Magensaftsekretion beim Menschen in nennenswertem Maße nicht beeinflußen kann. Ebenso ist es noch problematisch, ob die Emanation als solche oder nicht vielmehr die Alpha-Strahlung, die von ihr ausgeht, oder vielleicht beide Faktoren zusammen die beobachteten Einflüsse auf die fermentative Kraft ausüben.

Der Hefegärungsprozeß wird durch sehr starke Emanation aufgehalten.

Das Verhalten der Thoriumemanation gegenüber den Verdauungsfermenten und der Autolyse untersuchten eben-

falls Bickel und Minami und fanden bei der Diastase zunächst eine Hemmung, späterhin eine Verstärkung, bei noch längerer Versuchsdauer wird das Verhalten ungleichmäßig. Ebenso unregelmäßig wird das Trypsin beeinflußt, während das Pepsin schwach aktiviert wird und zwar erst nach längerer Zeit der Einwirkung.

Das autolytische Ferment wird im Anfang verstärkt, bei längerer Dauer der Versuche gehemmt.

Der Einfluß der Thoriumemanation mit ihren Alpha-Strahlen auf die Verdauungsfermente erwies sich als wesentlich intensiver als der Einfluß der Bestrahlung durch Mesothorium mit seinen Beta- und Gamma-Strahlen unter Ausschluß von Alpha-Strahlen.

Minami verwandte eine wässerige Lösung von Thorium X, mit Rücksicht auf die Kurzlebigkeit der Thoriumemanation.

Bei der ausschließlichen Bestrahlung mit Mesothorium unter Ausschluß der Emanation wurde kein Einfluß auf die Autolyse bei normaler Hundeleber, bei Karzinom und bei Sarkom des Menschen nachgewiesen, dagegen bei Mitwirkung der Emanation eine deutliche Beeinflussung (Minami).

Aus diesen Versuchen ergibt sich, daß die Emanation sowohl des Radiums wie des Thoriums im Gegensatz zu den Beta- und Gamma-Strahlen auf die untersuchten Fermente eine kräftige Einwirkung entfaltet, daß aber noch weitere Untersuchungen erforderlich sind, um evtl. das Gesetz festzustellen, nach welchem die Einwirkungen im fördernden oder hemmenden Sinne erfolgen; soviel steht jedenfalls fest, daß die Beeinflussung durch die Emanation abhängig ist von der Art des Fermentes wie auch von der Dauer des Versuches.

Es ist fernerhin eine noch größtenteils ungelöste Aufgabe, die Einwirkung der Zerfallsprodukte der Radium- und Thoriumemanation zu untersuchen. Dieses Problem ist besonders wichtig für die Mesothoriumtherapie, da sich bei Anwendung der Glieder der Thoriumreihe, speziell also des Mesothorium und Thorium X, wegen der Kurzlebigkeit der kontinuierlich entstehenden Emanation wahrscheinlich Zerfallsprodukte derselben im Körper niederschlagen und doch wahrscheinlich nicht wirkungslos bleiben.

Nach den bisherigen Ergebnissen erscheint die Annahme zulässig, daß die Beeinflussung der fermentativen Prozesse durch Emanation eine Grundlage, wenn auch vielleicht nicht, wie Löwenthal will, die Grundlage der Wirksamkeit der Emation im Organismus bildet. Zweifellos ist es für bestimmte Krankheitsgruppen von der größten Wichtigkeit, daß die Verdauungsfermente eine Erhöhung ihrer Kraft erfahren, in anderen wiederum wird es sich darum handeln, eine überschüssig tätige fermentative Kraft zu hemmen. In der Erforschung dieser beiden Richtungen eröffnet sich ein weites und dankbares Gebiet für den Experimentator wie für den Kliniker. Die Förderung der Autolyse ist besonders bei solchen Zuständen von Wichtigkeit, bei denen die Beseitigung von Krankheitsresten höchstwahrscheinlich von autolytischen Vorgängen abhängt. Auch in dieser Hinsicht werden weitere Untersuchungen die wünschenswerte Klarheit bringen.

B. Einwirkung auf die Bakterien.

Eine Wirkung auf die Bakterien bezw. auf die von ihnen produzierten oder in ihnen enthaltenen Toxine ließ sich a priori auch von den Radiumstrahlen annehmen, da die Einwirkung verwandter Strahlen, insbesondere des Sonnenlichtes, auf die Mikroben in weitem Umfange bekannt ist. Indes hat sich auch über diese Frage in der Literatur eine lebhafte Diskussion abgespielt, indem gleichartige Untersuchungen nicht übereinstimmende Resultate ergaben, und es ist wohl die Annahme gestattet, daß diese Differenz in den Ergebnissen darauf zurückzuführen ist, daß zu Anfang der Radiumforschung die Methodik noch nicht so ausgebildet war in neuerer Zeit. So leugnet Wickham eine bakterizide Wirkung der Radiumstrahlen und ist der Meinung, daß die von anderen Autoren beobachtete Wachstumshemmung oder Vernichtung auf einer Veränderung des Nährbodens durch die Radiumstrahlen beruht und daß die Bakterien auf Grund dieser Veränderung gehemmt oder abgetötet werden.

Ein englischer Autor Minett veröffentlicht im Lancet vom 22. 5. 1909 ebenfalls ein völlig negatives Ergebnis seiner Untersuchungen. Er verwandte Kulturen von Pyozyaneus, Milzbrand, Subtilis, Megatherium, Koli- und Typhusbazillen. Weder

das Wachstum noch die Beweglichkeit noch die Agglutinationsfähigkeit wurde beeinflußt, obwohl die Kulturen 10, 20, 30 und 60 Minuten bestrahlt wurden.

Ebenso hatte N. Freund im Jahre 1900 völlig negative Resultate bei Staphylokokkus pyogenes aureus und Typhusbazillus, selbst bei dreitägiger Bestrahlung.

Die Ansicht von Wickham bezüglich der Veränderung der Bakteriennährboden durch Radiumstrahlen scheint eine gewisse Bestätigung durch die Untersuchungen von Raphael Dubois zu erfahren, der bei Bestrahlung von sterilisierter Gelatinelösung die Entstehung merkwürdiger Vakuolen beobachtete, die die biologische Erscheinung der Zellteilung darzubieten und demnach organische Lebewesen zu sein schienen. Burke, der unabhängig von Dubois die gleichen Experimente anstellte, bezeichnete die Duboisschen „Mikrobioiden" mit dem Namen „Radioben". Ramsay gab für ihre Entstehung die Erklärung, daß durch die Radiumstrahlen das in der Gelatine enthaltene Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt wurde, daß also die Vakuolen mit Gas gefüllte Bläschen darstellen.

Wie dem auch sei, die Arbeiten von Aschkinass und Caspari haben ergeben, daß den Radiumstrahlen unabhängig von einer etwaigen Einwirkung auf den Nährboden eine erhebliche bakterizide Wirkung zukommt. Sie arbeiteten mit einem Gramm radiumhaltigem Bariumbromid und fanden bei Prodigiosus völlige Abtötung nach 2—4stündiger Bestrahlung aus einer Entfernung von 4—10 mm, allerdings nur, wenn die Strahlen ungefiltert zur Wirkung kamen. Wurde ein 0,1 mm dickes Aluminumfilter zwischen Strahlenquelle und Agar zwischengeschaltet, so blieb die Wirkung aus, ebenso wenn die Bestrahlung aus einer Entfernung von 60 mm ohne Filter erfolgte.

Hieraus folgt, daß die beobachtete Wirkung durch die Alpha-Strahlen oder durch die Emanation erfolgt sein mußte. Durch eine entsprechende Versuchsanordnung wurde festgestellt, daß in erster Linie die Alpha-Strahlen, in zweiter Linie die weichen Beta-Strahlen bakterizid wirken. Die harten Strahlen, also ein Teil der Beta-Strahlen und die Gamma-Strahlen zeigen diese Eigenschaft nicht.

Die Wirkung auf pathogene Bakterien untersuchten

Pfeiffer und Friedberger und fanden, daß durch Bestrahlung mit 25 mg Radiumbromid Typhusbazillen und Choleravibrionen nach 48 bezw. 16stündiger Bestrahlung aus 10 mm Entferung abgetötet wurden. Milzbrandsporen waren unter gleichen Umständen nach 48 Std. gehemmt, nach 72 Std. abgetötet.

Die Wirkungen wurden umso intensiver, je dichter das Präparat an die Kultur herangebracht wurde.

Ebenso berichten Danysz und Curie über Versuche mit Radiumbaryumbromid, die eine allgemeine Hemmung der Mikroben, Abtötung dagegen nur bei einigen Bakterienarten, und zwar denjenigen, die proteolytische Enzyme bilden, wie z. B. Milzbrand, ergeben hätten.

Eine Reihe anderer Autoren, wie W. Hoffmann (Prodigiosus, Staphylokokkus pyogenes aureus und Milzbrand), Scholtz (Typhusbazillen und Staphylokokken), Dixon und Wickham (Prodigiosus, Pyocyaneus, Typhus und Milzbrand), Dorn, Baumann und Valentiner (Typhusbazillen) usw. haben bei verschieden angeordneten Untersuchungen im allgemeinen die gleichen Ergebnisse gehabt. Scholtz gelang es auch, eine Aufschwemmung von Staphylokokken in Bouillon mit positivem Resultat zu bestrahlen, während Hoffmann in Flüssigkeit aufgeschmemmte Bakterien nicht abtöten konnte. Uebrigens ist Scholtz der Meinung, daß auch die Beta- und Gamma-Strahlen bakterizide Eigenschaften hätten. Im Gegensatz hierzu stellte Straßmann in sorgfältigen Untersuchungen fest, daß die durchdringenden Strahlen auf Staphylokokken, Streptokokken und Tuberkelbazillen eine wesentlich schwächere Einwirkung haben, als die Gesamtheit der drei Strahlengattungen, d. h. also, daß die Hauptwirkung den Alpha- und den langsamen Beta-Strahlen zukommt.

Exakte Untersuchungen über die antibakterielle Wirkung der Radiumstrahlen stellte auch Werner an und kam ebenfalls zu dem Resultat, daß den Radiumstrahlen eine hohe bakterizide Kraft innewohnt. Daß die Hemmung bezw. Abtötung der Bakterien nicht auf einer Veränderung des Nährbodens beruht, zeigte er durch Bestrahlung des Nährbodens vor der Impfung, wobei keinerlei Hemmung des Wachstums zu beobachten war. Ist eine Kultur schon kräftig gewachsen, so ist es schwerer, sie durch die

Radiumstrahlen zu beeinflussen, als wenn man die Entwicklung von vornherein aufhält.

Werner injizierte nun Kaninchen die durch Radiumstrahlen abgetöteten Kulturen und stellte fest, daß diese im hohen Grade entgiftet waren, indem die letale Dosis zwei bis dreimal so hoch war als die Dosis der durch Erhitzen getöteten Kulturen. Es scheinen also die Toxine durch die Radiumbestrahlung beträchtlich abgeschwächt zu werden. Dabei wirkte bei den Wernerschen Versuchen das Serum der zur Injektion verwendeten Tiere sowohl bakteriolytisch wie auch antitoxisch.

Werner versuchte auch mittels Radiumstrahlen infizierte Wunden zu desinfizieren — ohne positiven Erfolg. Dieser Mißerfolg findet darin seine Erklärung, daß die bakterizide Kraft eine Eigenschaft vorwiegend der Alpha-Strahlen und der weichen Beta-Strahlen ist, deren Einwirkung bis zur Entfaltung der keimtötenden Kraft auf infizierte Wunden mit Rücksicht auf die zerstörende Wirkung auf die Körperzelle unzulässig erscheint. Dagegen hatte das Aufbringen von Reinkulturen auf die Oberfläche von Radiumnekrosen und Radiumulzerationen, ja sogar das Einreiben der Kulturen oder die Injektion von Aufschwemmungen hochvirulenter Mikroben in die radiumveränderte Gewebspartie weder eine entzündliche Reaktion, noch eine Infektion zur Folge. Diese Unwirksamkeit der Bakterien beruht einmal darauf, daß durch die Zerstörung des Gewebes die Zirkulation und Resorption behindert, die Bakterien also nebst ihren Toxinen an Ort und Stelle bleiben mußten, ferner auf einer gewissen Selbststerilisierung des durch die Strahlen zerstörten und aufgelösten bezw. in Auflösung begriffenen Gewebes; bei dieser Auflösung können die Körperzellen unabhängig von den zum Schutze oder zu Resorptionszwecken herbeieilenden Leukozyten und Lymphozyten antibakteriell wirkende Stoffe produzieren, z. B. Cholin, Glyzerinphosphorsäure, wahrscheinlich auch gewisse Fermente.

Die bakterizide Kraft des Thoriums untersuchte Wolff und berichtete in der Berl. med. Ges. am 13. März 1910, daß Tuberkelbazillen nach 3 bis 6tägiger Einwirkung abgetötet würden.

Nach Mitteilung von Sagen verliert das Serum von Typhuskranken nach zwei bis dreitägiger Bestrahlung mit Radium seine Agglutinationsfähigkeit für Typhusbazillen.

Bekannt sind auch die Untersuchungen von Tizzoni, der zeigen konnte, daß das Hundswutgift von Radiumstrahlen in vitro angegriffen wird, und zwar nimmt die Toxizität schon nach einstündiger Bestrahlung erheblich ab und verschwindet bei längerer Bestrahlung vollständig. Es gelang ihm auch, mit Hundswutgift infizierte Hunde durch Radiumbestrahlung am Leben zu erhalten, wenn die Bestrahlung sofort oder eine Stunde spätestens nach der Injektion einsetzt.

Wir werden späterhin erkennen, daß der typische Verlauf der Radiumwirkung entsprechend einem pharmakodynamischen Grundgesetz in zwei Stadien sich abspielt, das erste Stadium ist das der Reizung, das zweite das der Hemmung, evtl. der Vernichtung. Bei Kenntnis dieses Gesetzes nimmt es nicht Wunder, daß von einem Autor, Schirnoff, auch im Verlauf der Strahlenwirkung auf die Bakterien zunächst ein Reizstadium und dann erst die Erscheinungen der Hemmung bezw. Abtötung beobachtet wurden; im Reizstadium soll die Virulenz abgeschwächter Bakterien erhöht werden.

All diese aufgeführten Resultate sind wissenschaftlich hochinteressant und gewähren weitgehende Einblicke in den Charakter der Radiumstrahlen, sind aber zur unmittelbaren Anwendung in der Praxis nicht geeignet. Der Wirkungsbereich der vorwiegend bakterizid wirkenden Strahlen ist von zu geringem Umfange, als daß die zweifellos feststehende antibakterielle Wirkung praktisch benutzt werden könnte.

Dagegen bietet die Emanation, die ja als Gas bis zu dem Zeitpunkte ihres Zerfalls über einen genügenden Wirkungsbereich sich verbreiten kann, die Möglichkeit, außerhalb oder innerhalb des menschlichen Organismus eine ihr innewohnende bakterizide Kraft vorteilhaft geltend zu machen. Es haben sich deshalb mehrere Autoren mit Untersuchungen der antibakteriellen Wirkung der Emanation beschäftigt. So stellten Dorn, Baumann und Valentiner umfangreiche Versuche an, indem sie große Mengen Emanation über Bakterienkulturen hinwegleiteten. Wurden Schrägkulturen von Typhusbazillen unmittelbar nach der Anlegung und an den beiden darauffolgenden Tagen je 10 Minuten lang mit Emanation in Berührung gebracht, so wurde ihre Entwicklung gehemmt. Sie verwendeten 30 mg

Radiumbromid in einer Lösung, die pro Minute etwa 3.10^7 elektrostatische Einheiten abgab. Ebensowenig entwickelten sich Diphtheriebazillen und Choleravibrionen. Auf in Flüssigkeit suspendierte Bakterien wirkt dagegen Emanation nur sehr schwach ein, da sie nur zu einem geringen Teile in Wasser aufgenommen wird. Hemmungserscheinungen im Wachstum beobachtete ferner Rheinboldt mit radioaktivem Kissinger Wasser und Kalmann mit Gasteiner Quellwasser, und zwar stellten beide Autoren fest, daß diese Wirkung nur vom frischen Thermalwasser ausgeübt wird, dagegen ausbleibt, wenn Wasser, das längere Zeit gelagert hat, zur Verwendung kommt.

Löwenthal prüfte diese Angaben nach, indem er Bouillonkulturen von Staphylokokkus aureus mit Radiogenwasser versetzte, das in 1 ccm 1000 Radiogeneinheiten enthielt. Er fand gegenüber den emanationsfreien Kontrollkulturen keinen Unterschied im Wachstum der Staphylokokken, des Prodigiosus und des Bakterium coli. Aus seinen Beobachtungen schließt er, daß die Resultate von Rheinboldt und Kalmann nicht auf den Emanationsgehalt der Thermalwässer bezogen werden dürfen, ferner daß die Resultate von Dorn, Baumann und Valentiner durch die großen Mengen der verwendeten Emanation, vielleicht auch durch die hierbei auftretende Ozonentwicklung zu erklären sind.

Bei Prodigiosus stellte Jansen bei Anwendung eines Emanationsgehaltes von 400 M.-E. pro ccm Luft in mehreren Tagen Abtötung fest. Bei dreistündiger Behandlung einer in dünner Schicht frisch angelegten Prodigiosuskultur mit sehr stark radioaktiver Luft wurde nur eine eben sichtbare Wachstumshemmung erreicht, und erst nach 48 stündiger Einwirkung einer Luft von 766 M.-E. pro ccm starben die Bazillen ab. Deutliche Hemmung bei demselben Bazillus fand Dautwitz, der im übrigen die bakterizide Kraft der Emanation auf die Einwirkung der Alpha-Strahlen sowie auf die Ozonbildung zurückführt.

Ferner ließ Sueß große Dosen von Radiumemanation auf Tuberkelbazillen einwirken, konnte aber nach zwei Tagen irgend welchen Einfluß auf Wachstum oder Pathogenität nicht feststellen.

Nach den Untersuchungen von Albert Schütze, der Radiogen von je 1000 Einh. Kaninchen intravenös injizierte, ist ein Einfluß auf die Agglutinine im Serum nicht zu konstatieren. Eine Steigerung wurde indes erzielt nach wiederholter intravenöser Injektion von gelösten Radiumsalzen und zwar gegenüber Typhus und Cholera.

Aehnliche Versuche, die bei positivem Ausfall eine Erhöhung der physiologischen Schutzkraft des Organismus gegen bakterielle Einflüsse bedeuten würden, sind auch von anderen Autoren unternommen worden. Es wurde bereits an die von Werner angestellten Versuche über die Einwirkung von Radiumstrahlen auf infizierte Wunden erinnert, woraus sich übrigens erklärt, daß die Radiumstrahlen im bakteriologischen Versuch eine geringere bakterizide Wirkung entfalten als bei therapeutischer Anwendung bei Dermatomykosen, Lupus und anderen ausgesprochen mikrobiellen Hauterkrankungen. Die Annahme von Werner, daß bei der Zerstörung der Zellen durch die Radiumbestrahlung antitoxische Fermente oder chemische Stoffe von gleicher Wirkung gebildet werden, hat viel Bestechendes für sich.

Bei gleichzeitiger Injektion von Emanation verhielten sich Meerschweinchen resistent gegen Pyozyaneus in doppelt letaler Dosis (Bouchard und Balthazard).

Der Studien von Tizzoni über die Einwirkung der Radiumstrahlen an tollwütigen Hunden wurde ebenfalls gedacht.

Nach alledem scheint die Möglichkeit nicht ausgeschlossen zu sein, daß unter dem Einflusse des Radiums und zwar entweder der Strahlen oder der Emanation im Organismus Veränderungen hervorgerufen werden können, die in gewissen Fällen von günstiger Wirkung auf infektiöse Krankheitsprozesse sein können. Es scheint festzustehen, daß die bakterizide Wirkung eine spezielle Eigenschaft der Alpha- und der langsamen Beta-Strahlen ist.

C. Einwirkung auf die tierische Zelle.

Die Beobachtungen von Walkhoff und Giesel 1900 sowie von Becquerel 1901, der sich durch ein radiumhaltiges Röhrchen eine Brandwunde zuzog, zeigten, daß die Radiumstrah-

len eine intensive Einwirkung auf das Zellgewebe auszuüben imstande sind, und es wurde in der Folgezeit von zahlreichen Autoren diese Einwirkung experimentell untersucht und eine große Anzahl von Beobachtungen in der Literatur niedergelegt.

Es hat sich herausgestellt, daß die Einwirkung der Radiumstrahlen besonders an zwei Grundsätze gebunden ist, nämlich

1. die verschiedenen Körperzellen verhalten sich den Strahlen gegenüber verschieden,
2. die Wirkung äußert sich zunächst in einem Reiz und geht bei fortdauernder Bestrahlung in ein destruierendes Stadium über.

Diese beiden Grundsätze erfahren naturgemäß je nach der Intensität der Bestrahlung, die sich wiederum nach der Stärke des Präparates und der Dauer der Applikation richtet, nach der Entfernung der Strahlenquelle von dem Objekt, nach dem Alter der Zelle und nach der Zellenart mancherlei Modifikationen, so daß dieses Gebiet heute noch lange nicht völlig durchforscht ist und es weiterer Forschung vorbehalten bleiben muß, diese Lücken auszufüllen.

Auch über die Tiefe, bis zu welcher sich die Wirkung der Radiumstrahlen erstreckt, herrscht keine Uebereinstimmung; jedenfalls scheint die Wirkung im allgemeinen nicht über 1 cm hinauszugehen, während allerdings von französischen Autoren eine größere Tiefenwirkung angenommen wird, speziell bei der kataphoretischen Einbringung von Emanation.

Ebenso bestehen noch Kontroversen darüber, ob die Radiumstrahlen auf die Zelle als biologische Einheit einwirken oder nur auf gewisse Bestandteile, die allerdings lebenswichtig sind und bei deren Zerstörung durch entsprechende Strahlendosen auch das Leben der ganzen Zelle gefährdet oder vernichtet wird.

Die ersten Untersuchungen in dieser Hinsicht stellte Schwarz an, indem er 2 cg Radiumbromid 144 Stunden lang auf ein Hühnerei einwirken ließ und danach Bräunung der Kalkschale, Eindickung und Häutchenbildung am Weißei sowie eine grünlichgraue Verfärbung des Dotters in einem Umkreise von 4 mm im Durchmesser beobachtete. Die verfärbte Stelle des Dotters ließ sich leicht vom übrigen Dotter trennen und

schmeckte nach Trimethylamin, das bekanntlich ein Zersetzungsprodukt des Lecithins ist.

Diesen Befund deutete der Autor folgendermaßen. Die Bräunung der Eischale führte er auf eine Verfärbung ihrer organischen Substanz im Sinne einer trockenen Destillation, die Verfärbung des Dotters auf Zersetzung des Luteins und die sonstige Umwandlung, insbesondere die Entstehung des Trimethylamins auf eine Zerstörung des Lecithins zurück.

Es war nun die Frage, ob auch isoliertes Lecithin von den Radiumstrahlen verändert wird. Schwarz prüfte dies und fand das gleiche Resultat, nämlich Entwickelung von Trimethylamin. Daß die Entstehung dieser charakteristischen Substanz nicht auf Fäulnis zurückzuführen ist, glaubt Schwarz durch den Hinweis auf die bakterizide Kraft der Radiumstrahlen, die sich natürlich auch auf die Fäulnisbakterien erstreckt, beweisen zu können. Anderseits führt er als Hinweis darauf, daß gerade das Lecithin zunächst von den Strahlen angegriffen wird, die Tatsache an, daß in lupösen und karzinomatösen Geschwülsten die Zellen besonders lecithinreich sind, woraus sich die beobachtete günstige Einwirkung der Radiumstrahlen erkläre, indem diese das zur Weiterentwickelung der Geschwülste notwendige Lecithin zerstörten.

Diese Anschauung von Schwarz hat zu einer lebhaften Diskussion geführt, da Nachprüfungen zum Teil ein gleichartiges, zum Teil ein abweichendes Ergebnis hatten und da ferner anderweite Untersuchungen zu Resultaten führten, die mit der Lecithinhypothese nicht in Einklang zu bringen waren. Es sei hier auf die hauptsächlichen diesbezüglichen Publikationen hingewiesen.

Wohlgemuth studierte die Einwirkung von Radium auf verschiedene Hauptbestandteile des Körpers, speziell auf Eiweiß, Kohlenhydrate und Fett, indem er die zu bestrahlende Substanz in Wasser löste, zur Verhütung von Fäulnis mit Toluol überschichtete und täglich mehrmals je ¼ bis ½ Stunde lang bestrahlte, wobei die Präparate im Brutschrank sich befanden. Nach fünf Tagen brach er die Versuche ab und analysierte die Masse. Die Versuche fielen sämtlich negativ aus, indem die untersuchten Substanzen (Witte-Pepton und Asparagin, α-Methylglycosid und

Olivenöl) in ihrer Zusammensetzung vollkommen unverändert blieben.

Wohlgemuth glaubte durch diese Untersuchungen die Lecithinhypothese von Schwarz widerlegt zu haben; denn da das bestrahlte Fett unverändert geblieben war und da das Lecithin zu den Lipoiden, also den fettähnlichen Körpern gehört, glaubt erfolgern zu dürfen, daß von einer elektiven Wirkung des Radiums auf das Lecithin keine Rede sein könne und daß mit seinen Untersuchungen sämtliche Theorien, die auf Grund der Schwarzschen Lecithinhypothese aufgestellt worden seien, hinfällig geworden wären.

Nun steht allerdings die Tatsache fest, daß die Radiumbestrahlung auf das Hühnerei in der von Schwarz beschriebenen Weise zersetzend einwirkt und daß sich auch Trimethylamin entwickelt. Zur Erklärung dieser Beobachtung führt Wohlgemuth an, daß unter dem Einflusse von Radium die autolytischen Fermente aktiviert werden, wie er und Neuberg festgestellt zu haben meinen. Bei seinen Versuchen mit tuberkulösem Lungengewebe (siehe Seite 115) hat er gezeigt, daß die mit Radium bestrahlte Portion viermal so viel Stickstoff in Lösung hatte gehen lassen wie die unbestrahlte Kontrollprobe. Neuberg erhob denselben Befund an der karzinomatösen Leber, eine Wirkung, die entweder auf eine Erhöhung der Autolyse oder auf eine Vernichtung aller für den Lebensprozeß wichtigen Fermente mit nachfolgendem Absterben der Zellen unter den Erscheinungen der Autolyse beruht.

Ganz anders lauten die Ergebnisse von Mesernitzky bei seinen Untersuchungen über die quantitative Veränderung des Lecithins in Organismen, die in der Entwicklung begriffen sind, unter dem Einflusse der Radiumstrahlen. Er bestimmte die Menge des durchschnittlichen Gehaltes des Eidotters an Lecithin und fand, in Uebereinstimmung mit Lawson 8,5 % des Gesamtgewichtes und 15,35 % der Trockensubstanz. Nun ließ er Radiumstrahlen, und zwar 30 mg Radiumbromid, durch 0,02 bis 0,03 dicke Glimmerfilter aus einer Entfernung von 2—4 mm auf das Ei einwirken und bestimmte die Menge des Lecithins vor und nach der Bestrahlung. Durch das Glimmerfilter konnte noch ein

kleiner Teil der Alpha-Strahlen hindurchdringen. Seine Resultate sind in folgender Tabelle dargestellt.

	Gewicht der Eier g	Menge des Lezithins g	Gehalt an Lezithin Proz.
Nach 72stündig. Bestrahlung	12,1	0,78	6,5
Kontrollen ohne Radium . .	13,4	2,17	16,2
	12,78	1,87	14,6
Nach 96stündig. Bestrahlung	11,5	0,84	7,2
Kontrollen ohne Radium . .	16,29	2,59	15,9
	14,51	2,30	15,8
Nach 168stündig. Bestrahlung	15,7	0,78	4,9
Kontrollen ohne Radium . .	14,2	2,1	14,08

Wurden die Alpha-Strahlen vollkommen ausgeschaltet, so konnte die Bestrahlung selbst mit 50 mg Radiumbromid nur minimale Effekte hervorbringen.

Bei gekochten Eiern, also nach Vernichtung der Fermente erzielte Mesernitzky die gleichen Resultate; woraus folgt, daß die Neubergsche Annahme, nach welcher die beobachtete Zerstörung auf dem Umweg einer Veränderung der Fermente zustande komme, nicht zutrifft, daß vielmehr eine direkte Einwirkung auf das Lecithin — wie natürlich auch auf andere Bestandteile der Zelle — angenommen werden muß.

Auch Werner konnte bei seinen Untersuchungen im Czernyschen Institut auf Grund eigener Ueberzeugung die Zerstörung des Lecithins durch Radiumbestrahlung bestätigen und des weiteren über eine Reihe interessanter Experimente berichten. Er fand nämlich, daß die Injektion zersetzten Lecithins im tierischen Körper analoge Veränderungen hervorruft wie die direkte Bestrahlung mit Radium. Des ferneren, daß die Summe der Zersetzungsprodukte des Lecithins, gleichgültig auf welchem Wege sie erzeugt worden waren, stets dasselbe leistet wie das bestrahlte Lecithin, und endlich, daß das Cholin den am stärksten wirkenden Bestandteil repräsentiert. Werner bezeichnet diese Vorgänge als „chemische Imitation der Strahlenwirkung", und von Exner und Zwark konnte gezeigt werden, daß diese durch Cholin allein erzielt werden kann.

Werner ist der Ansicht, daß die Versuche Meser-nitzkys den Beweis erbringen, daß die Radiumstrahlen auf das Lecithin der Hühnereier direkt einwirken, daß aber das Lecithin nicht die einzige Angriffssubstanz bildet, sondern daß die lebende Zelle durch die Strahlen eine einheitliche, schwere Läsion erleidet und durch Summation vieler kleiner Veränderungen, die sich gegenseitig noch verstärken, zum Untergang gebracht wird. Die Förderung der Autolyse würde dadurch verständlich, daß die autolytischen Fermente infolge der Zerstörung des Lecithins sozusagen ein freies Feld für ihre Wirksamkeit erhalten.

Dieser Anschauung stehen nun wieder die Ergebnisse diametral gegenüber, die Oscar und Günther Hertwig bei ihren Experimenten mit den Samenzellen und den Eiern des Frosches gewinnen konnten. Wir kommen auf dieselben noch ausführlicher zurück und wollen hier nur in Fortsetzung unseres Themas bemerken, daß Hertwig eine Beschädigung der Kernsubstanz der Zelle durch die Bestrahlung annimmt und durch schöne Experimente unbestreitbar bewiesen hat. Es liegen also auf beiden Seiten experimentelle Feststellungen von großer Beweiskraft vor, und es erscheint uns nicht angängig, im Sinne eines Entweder-oder die eine experimentell begründete Ansicht gegen die andere ebenso begründete Ansicht ins Feld zu führen. Ein Zweifel an der Exaktheit der Experimente erscheint nicht berechtigt, und der Widerspruch in den endgültigen Feststellungen dürfte sich beseitigen lassen, wenn die Deutung der experimentellen Beobachtungen von einem gemeinsamen Gesichtspunkte aus erfolgen und auch die Differenz in der biologischen Konstitution der Versuchsobjekte mit berücksichtigen würde. Im übrigen sind die Kontroversen akademischer Natur. Für die Praxis geht aus allen Versuchen gleichmäßig hervor, daß durch eine erhebliche Strahlendosis eine Schädigung der Zelle erwartet werden muß und dieses Ergebnis, kombiniert mit der Beobachtung der elektiven Wirkungsweise der Strahlen, führt zu überaus wichtigen therapeutischen Grundlagen.

Uebrigens untersuchte Schwarz auch die Einwirkung von Thorium X-Lösung, die frei war von Ozon und Wasserstoffsuperoxyd, auf den Dotter und konstatierte bereits nach 24 Stun-

den eine intensive Spaltung des Lecithins und des Luteins, und zwar in einem so weitgehenden Grade, daß eine Wirkung von Wasserstoffsuperoxyd oder Ozon oder antolytische Prozesse gar nicht in Betracht kommen konnten. Die verwendete Thorium X-Lösung wurde übrigens mittels Jodkalium-Stärkepapier geprüft und Abwesenheit von Ozon und Wasserstoffsuperoxyd festgestellt. Schwarz schließt aus diesem Versuch, daß diese Sauerstoffverbindungen bei dem beobachteten Spaltungsprozeß keine Rolle spielen. Nach Schwarz und Zehner wird die lezithinspaltende Einwirkung des Thorium X auch dadurch gekennzeichnet, daß eine exquisite hämolytische Wirkung sich nachweisen läßt, ferner eine Umwandlung des Oxyhämoglobins in Methämoglobin.

Bevor wir auf die elektive Wirkung der Radiumstrahlen eingehen, wollen wir kurz über die Experimente berichten, die sich auf die Einwirkung des Radiums auf tierische Keimzellen beziehen.

Wir wissen, daß primäre pflanzliche Substrate durch die Einwirkung von Radiumstrahlen Veränderungen erleiden. So geht die Keimkraft von Senf- und Kressensamen durch längere Bestrahlung verloren. Bickel und King weichten zwei gleich große Portionen Hafer in gleichen Mengen Wasser von gleichem Salzgehalt auf und setzten der einen Portion 400 000 M.-E Thorium X zu. Diese Portion entwickelte sich viel schlechter wie die Kontrolle. Kahn fand bei Versuchen an der Kresse, daß kleine Dosen Thorium X reizend, fördernd, große hemmend und zerstörend auf das Wachstum einwirken. Das gleiche ergibt sich aus den Untersuchungen Dauphins (Mukorineen), Dautwitz' (Askomyzeten), Matout (Gartenkresse und weißer Senf), Koernicke (Samen von Bohne und Kohlrübe) und Guilleminot (Samen von Radieschen und Poterium).

Falta und Schwarz brachten Haferkörner in einer mit Radiumemanation gefüllten Flasche zum Keimen und beobachteten, daß die Körner in größerer Anzahl und beträchtlich rascher keimten und wuchsen als im Kontrollversuch ohne Emanation.

Winkler fand, daß bei Pflanzen und Tieren in der Ruheperiode eine Entwicklungsbeschleunigung des undifferenzierten Plasmas durch Radiumemanation eintritt, während die Entwick-

lung bei dem differenzierten Plasma bis zur Abtötung gestört wurde. Ebenso beobachtete Barlow bei kurzdauernder Einwirkung radioaktiver Substanzen auf die Eier von Ascaris megalocephala eine Beschleunigung der Zellteilung, bei längerer Be-Bestrahlung eine Verlangsamung sowie eine Unregelmäßigkeit der Zellteilung.

Richard Bauer ließ Radiumemanation auf befruchtete Tiereier einwirken und stellte eine Wachstumshemmung, zuletzt ein Absterben fest. Er experimentierte mit Eiern der Wechselkröte (Bufo viridis) und des Bergmolches (Triton alpestris). Nach seinen Beobachtungen erzielen Radiumstrahlen dieselbe Wirkung in kürzester Zeit.

Eine interessante Wahrnehmung teilt Farr in der Brit. Med. Assoc., Sitzung vom 27. Juni 1911, mit. In New Sealand werden die Fischzüchtereien durch artesische Brunnen gespeist. Fischeier nun, die in der Nähe dieser Brunnenöffnungen liegen, sterben rasch ab, während etwas entfernter liegende Eier während ihrer Entwicklung eigenartige Mißbildungen zeigen, die umso seltener und weniger ausgesprochen in die Erscheinung treten, je weiter entfernt die Fischeier von der Brunnenöffnung liegen. Das Wasser zeigte eine hohe Radioaktivität und gab reichlich Emanation ab.

Bestrahlungsversuche an Froscheiern (Rana esculenta) im Stadium der groben Furchung und der Medullarrohranlagen sowie an Larven von 4,5 bis 8,5 mm Länge stellte Schaper an. Er bestrahlte ferner ältere Larven von Rana fusca, die bereits eine Länge von 15—28 mm erreicht haben. Die Objekte wurden dem hinter Glimmer liegenden Radium verschieden lange exponiert. Schaper beobachtete nun bei allen Objekten in erster Linie eine ausgesprochene Hemmung der Zellteilung, der Differenzierung, des Wachstums, wie auch des Prozesses der Regeneration, Schädigungen, die nach kürzerer oder längerer Latenzzeit eintraten und je nach der Bestrahlungsdauer und der Entwicklungshöhe des bestrahlten Organismus verschieden intensiv auftaten. Bei jungen dotterreichen embryonalen Stadien kam es zu einer oberflächlichen Runzelung und Zerklüftung und zu Mißbildungen und Verstümmelungen des gesamten Organismus, wie sie auch Bohn bei Amphibien sowie Perthes bei As-

carisembryonen beobachtet hat. Diese Mißbildungen stimmen überein mit den Verkrüppelungen, die durch Röntgenbestrahlung bei Froschlarven von verschiedenen Autoren, wie Gilman und Baetjer, Bohn und anderen beobachtet wurden.

Ebenso konnte Schaper Entwicklungshemmungen des Regenerationsprozesses bei Tritonenlarven und Blanarien feststellen. Ersterem wurde der Schwanz oder eine Extremität amputiert, letztere wurden einfach quer durchgeschnitten. Die Operationen erfolgten entweder unmittelbar nach der Bestrahlung oder einige Tage vor derselben. Nach wenigen Tagen machte sich die Hemmung des Regenerationsprozesses bemerkbar, bis er schließlich ganz sistierte; auch das bereits regenerierte Gewebe zeigte äußerlich schon nach 10 Tagen Zeichen des Verfalles.

Die Erfahrungen, daß ganz jugendliches Zellgewebe weit empfindlicher ist als die älteren Zellen desselben Organismus, zeigte sich auch hier. Die Blutgefäße entwickelten sich im regenerierten Gewebe anfänglich ungestört. Auch wenn die Bestrahlung einige Tage nach der Amputation, also nach Einsetzen des Regenerationsprozesses erfolgte, kam es alsbald zur Hemmung und endlich zum Stillstand.

Ließ Schaper Radiumemanation auf eine 15 mm lange Larve von Rana esculenta 64 Stunden hindurch einwirken, so ergab sich ebenfalls eine deutliche Hemmung des Wachstums, des Stoffwechsels und der baldige Eintritt des Todes.

Uebrigens steht Schaper auf dem Standpunkt von Schwarz, nach dem das eigentliche Angriffsmaterial für die Radiumstrahlen der Dotter, und zwar speziell das Lecithin ist; so erklärt er auch die Wahrnehmung, daß die dotterreichen jugendlichen Embryonalzellen durch Radiumstrahlen stärker beeinflußt werden als die älteren Larven, bei denen der größte Teil des Dotters bereits verbraucht ist.

Oskar Hertwig, der sich mit seinem Bruder besonders eingehend dem Studium dieser Erscheinungen gewidmet hat, bezeichnet den Komplex der durch die Bestrahlung der Keimzellen erzeugten Veränderungen als Radiumkrankheit und sieht ihr Wesen in einer primären Schädigung des Zellkernes. Seine interessanten Untersuchungen erstrecken sich nach verschiedenen Richtungen.

1. Zunächst wurden Froscheier im frühen Embryonalstadium bestrahlt und analoge Erscheinungen beobachtet, wie sie auch von anderen Autoren, wie vorstehend beschrieben, festgestellt worden sind.

Die Schädigung ist umso intensiver, je länger bestrahlt wird und je kräftiger das Radiumpräparat ist. Ferner zeigt sich, daß ganz jugendliches Zellgewebe der Einwirkung der Strahlen viel stärker ausgesetzt ist wie älteres Gewebe. Es entstehen also besondere Formen von Mißbildungen, indem die Radiumlarven in ihrer Entwicklung, besonders im Größenwachstum zurückbleiben und eine unförmliche Gestalt annehmen infolge einer durch Wassersucht hervorgerufenen Auftreibung des Bauches.

Hierbei zeigte sich die merkwürdige Tatsache, daß die Radiumstrahlen in elektiver Weise auf die verschiedenen Organe eingewirkt waben. Besonders stark geschädigt waren Gehirn und Rückenmark, Herz und Blut, sodann die höheren Sinnesorgane und die Muskulatur.

2. In einer zweiten Versuchsreihe wurden die Samenfäden von Seeigeln und Fröschen zunächst bestrahlt und dann zur Befruchtung normaler Eier verwendet. Auch hier wurde die Entwicklung gehemmt und bei entsprechender Dauer der Bestrahlung allmählich zum Stillstand gebracht, ebenso kam es zu den bereits beschriebenen Mißbildungen. Indes betont Hertwig, daß bei Anwendung gleicher Strahlendosen die Schädigung bei den letzteren Versuchen eine viel geringere war als bei der Bestrahlung in der ersten Versuchsreihe, und daß — was noch auffälliger ist — die Schädigung ein gewisses Maximum erreichte, das von einem der Dauer der Bestrahlung der Samenfäden entsprechenden Stadium des Abklingens gefolgt war, ja daß die Entwicklung der Eier proportional der Bestrahlungsdauer des Samens wieder gefördert wurde.

3. In einer dritten Serie von Versuchen wurden umgekehrt zunächst die Eier bestrahlt und alsdann mit intakten Samenfäden befruchtet. Hierbei wurden im wesentlichen die gleichen Resultate erzielt wie in der zweiten Versuchsordnung.

4. Wurden endlich sowohl Eier wie Samenfäden vor ihrer Vereinigung bestrahlt und alsdann miteinander verbunden, so er-

gaben sich dieselben Symptome der Radiumkrankheit wie bei den ersten Versuchen, bei denen das bereits befruchtete Ei bestrahlt worden war.

Hertwig schließt aus diesen Experimenten, daß die Radiumstrahlen in erster Linie auf die Kernsubstanz der Keimzellen einwirken, und erblickt in seinen Resultaten einen Beweis, daß das Lecithin nicht direkt geschädigt werden, daß also die Hypothese von Schwarz, Mesernitzky, Werner und Schaper nicht zutreffend sein kann.

Was den ersten Teil seiner Folgerungen betrifft, so erbringen die mikroskopischen Präparate die sichere Grundlage für ihre Richtigkeit. Zum Beweis der zweiten Folgerung macht Hertwig geltend, daß, falls die Lecithinhypothese richtig wäre, in der zweiten Versuchsreihe eine viel geringere Schädigung hätte eintreten müssen als in der dritten Versuchsreihe, während in Wirklichkeit die Ergebnisse im wesentlichen gleich waren. Der Dottergehalt des Eies ist nämlich viel größer wie der des Samenfadens, demgemäß auch der Lecithingehalt, und wenn die Radiumstrahlen eine elektive Wirkung auf das Lecithin ausübten, so müßten die durch Bestrahlung des Eies vor der Befruchtung eintretenden Schädigungen wesentlich größer sein, als wenn der relativ lecithinarme Samenfaden vor der Befruchtung des Eies bestrahlt wird. Die Rolle des radiumkranken Samenfadens schätzt Hertwig wie die eines infektiösen Bakteriums ein. Denn die mit dem Samenfaden zugeführte kranke Substanz durchdringt vermöge ihres Wachstums das gesamte Ei, ähnlich wie ein pathogener Bazillus durch seine Vermehrung den ganzen Organismus infiziert. Solange also die erkrankte Kernsubstanz (Chromatin) sich in der Keimzelle vermehrt, so lange wird eine Schädigung sich geltend machen, gleichgiltig ob das kranke Chromatin vom Kern des Eies oder vom Kern des Samenfadens herrührt. Erst nach Elimination des erkrankten Bestandteiles können die bioblastischen Vorgänge im Rahmen der durch die Radiumkrankheit erfahrenen Schädigung der Konstitution bis zu einem gewissen Grade in einer aufwärts führenden Richtung verlaufen.

Nach diesen Ausführungen werden wir den Darlegungen über die durch Radiumstrahlen herbeigeführten Veränderungen der Zellen des ausgebildeten Organismus volles Verständnis ent-

gegenbringen. Es liegen außerordentlich zahlreiche Untersuchungen vor, bei denen Tiere unter Anwendung verschiedenartiger Applikationsweisen mit Radium bestrahlt wurden, und ebenso liegt eine große Reihe von Daten über das Verhalten menschlicher Körperzellen gegenüber dem Radium vor.

Besonders ausgedehnte Untersuchungen an Tieren nahm London vor. Er fand zuerst, daß das Radium imstande ist, ein Säugetier aus der Entfernung zu töten. Danysz hatte jungen Ratten in der Region des Gehirns und des Rückenmarks Radiumsalz in Glasröhren unter die Haut gebracht, worauf die Ratten unter den Erscheinungen der Paralyse zu Grunde gingen. London stellte seine Versuche bei 27 erwachsenen Mäusen an. Diese wurden zu je 3 oder 4 in niedrigen Gläsern untergebracht und von dem auf dem netzförmigen Zinkdeckel der Gläser angebrachten Radium 1—3 Tage lang bestrahlt. Es wurden 21 Tiere bestrahlt, die übrigen 6 zur Kontrolle verwendet. Vom dritten Tage an zeigten die bestrahlten Tiere deutliche Krankheitserscheinungen und starben am vierten bis fünften Tage. Die Kontrolltiere bleiben normal. Die Krankheitserscheinungen begannen mit Rotwerden der Ohren und Blinzeln mit den Augen, es gesellte sich hierzu allgemeine Schwäche, Schlaffheit der Bewegungen, Nahrungsverweigerung, schwaches Reagieren auf mechanische Reize, am vierten Tage ein komatöser Zustand, dem eine Lähmung der Extremitäten, speziell der hinteren folgte. Die Atmung wird langsam und oberflächlich, und unter den Erscheinungen der Atmungslähmung tritt der Tod ein.

Auf der Rückenseite lassen sich die Haare büschelweise, mit der Epidermis zusammen, leicht ablösen, die Haut ist leicht verletzlich, das Unterhautzellgewebe stark hyperämisiert, desgleichen die Dura mater, die Milz ist stark verkleinert, das arterielle Blut dunkel.

Es tritt anscheinend unter der Strahlenwirkung eine Herabsetzung der Funktionen des zerebralen Nervensystems ein, wohl infolge der Dünnheit der Schädeldecken, durch die die Radiumstrahlen leichter hindurchdringen können als durch die Knochen der Wirbelsäule. Allmählich aber sistieren sowohl die Funktionen des Gehirns wie die des Rückenmarkes.

London untersuchte ferner die Einwirkung der Strahlen von 25 mg Radiumsalz auf 3 Kaninchen, die in einem Drahtkäfig von 43 cm Länge, 41 cm Breite und 31 cm Höhe untergebracht waren. Die ersten beiden Wochen zeigten sich keine besonderen Erscheinungen. Am 16. Tag röteten sich die Ohren, und es traten an verschiedenen Stellen Brandmale auf, die in Geschwüre übergingen, allmählich aber vernarbten. Nach sechs bis acht Wochen fielen die Haare auf dem Rücken aus, die kahlen Stellen entzündeten sich und gingen in Geschwüre über. Diese bedeckten sich mit Krusten, unter denen Granulationen auftraten. Die Ohren schwollen mehr und mehr an und gingen in Nekrose über. Bei jedem Tier abszedierte je ein Lymphknoten. Nach 16 Monaten waren die Ohren stark verdickt, geschwürig deformiert und mit Krusten bedeckt, der Rücken enthaart und stark ulzeriert. Das Nervensystem verkümmerte allmählich, es stellte sich Apathie ein. Die hinteren Extremitäten wiesen Lähmungserscheinungen auf. Die Augen, die naturgemäß nur ungleichmäßig bestrahlt werden konnten, zeigten verschiedene Veränderungen: Kornea und Linse blieben fast intakt, es stellte sich jedoch Retinitis centralis, bei einem Kaninchen auch Neuritis centralis ein.

Der Geschlechtstrieb sistierte allmählich völlig.

Nach vorübergehender Gewichtszunahme fielen die Tiere ab und gingen ein, nachdem sie etwa ein Drittel des Gewichtes verloren hatten.

Die Autopsie ergab Atrophie des Unterhautzellgewebes, Verwachsungen der Haut im Gebiete der Wirbelsäule mit dem unterliegenden Gewebe, Welkheit der Muskulatur, Erweichung des Herzmuskels, Verkleinerung der Leber und der Milz, die verwelkt und erweicht war, Blässe und teigartige Beschaffenheit der Nieren, Vergrößerung der Nebennieren, Atrophie der Eierstöcke und der Testikel.

Die Milz ist degeneriert: Verminderung der Follikel und des Lymphozytengehaltes, nekrobiotische Erscheinungen in den Keimzentren, Ansammlung von Pigmentzellen in der Pulpa. Auch die Lymphknoten sind arm an Leukozyten. Die Leber ist völlig degeneriert, die Nierenzellen atrophiert, im Eierstock finden sich wenige degenerierte Graafsche Follikel. Die männlichen Keim-

drüsen sind steril und degeneriert, das Rückenmark zeigt atrophische Nervenzellen (Horowitz).

Zu ähnlichen Resultaten wie London kamen Boden und Heinecke. Auch diese Autoren fanden eine Degeneration der Milz wie des lymphoiden Gewebes, eine Vernichtung der Lymphozyten und der Leukozyten, und zwar traten die Veränderungen um so intensiver auf, je näher das Radiumpräparat (20 mg) an das Objekt herangebracht wurde.

Scholtz bestrahlte eine halbe bis zwei Stunden hindurch bei Fröschen die Gegend der Nervus ischiadicus und bei zwei Kaninchen den frei präparierten Nerven selbst, ohne eine Veränderung der Funktion feststellen zu können. Bei gleicher Versuchsanordnung, wie sie von London, von Boden und von Heinecke innegehalten worden war, erzielte er bei Kaninchen und Mäusen die gleichen Resultate. Des weiteren prüfte Obersteiner die Angaben der genannten Autoren nach und kam im wesentlichen zu gleichen Ergebnissen. Er fand Hyperämie des Gehirns und des Rückenmarks sowie der Meningen, kleinere oder größere Blutaustritte, hin und wieder auch Veränderungen der Nerven selbst. Dieser Autor meint, daß die am Zentralnervensystem beobachteten schweren Läsionen zum größten Teil nur einen Ausdruck einer allgemeinen Störung der Zirkulation und des Stoffwechsels seien.

Horsley und Finzi legten Radium in Platinröhrchen unter die Dura bei Affen ein, ohne daß klinische Symptome bemerkbar wurden. Bei der Autopsie fanden sie eine Blutinfiltration der Hirnhäute und eine Wucherung des Gefäßendothels, die zu Endoarteriitis obliterans führte. Das Bindegewebe zeigte beträchtliche Wucherungen. In der Hirnrinde befanden sich kleine Blutaustritte in den Perivasculärraum und thrombotische Infarkte, ferner Hyperchromatose der Ganglienzellen und Degeneration vereinzelter Pyramidenfasern.

Die Veränderungen des Testisgewebes der Ratte durch Radiumstrahlen studierte Thaler; er konstatierte eine Schädigung des spermabildenden Epithels und zwar eine in umgekehrter Reihenfolge zur Entstehung des Spermatozoen erfolgende Degeneration, die zur völligen Nekrose des Kanälcheninhaltes führte.

An der Leber von Mäusen stellte Persival Mills durch Radiumbestrahlung Koagulationsnekrose an der Applikationsstelle, diffuse parenchymatöse Entzündung, sodann einen der interstitiellen Zirrhose ähnlichen Prozeß fest.

Azoospermie durch Radiumbestrahlung wurde von Scholtz, Seldin u. a. beobachtet.

Nach Injektion von Radiumsalzen bei Mäusen beobachtete Bickel teils Fibroblasten, teils Riesenzellen sowie Nekrose, und zwar waren die Gewebsveränderungen um so intensiver, je strahlenaktiver die durch die Injektion erzeugten Radiumdepots waren.

Auch über die Einwirkung der Radiumemanation liegt eine Reihe von Untersuchungen vor, zunächst wieder von London. Er brachte in eine Flasche 10 mg in 10 ccm gelösten Radiumbromids, verband diese Flasche durch ein Glasrohr mit einer zweiten, in welcher ein Frosch saß; in eine gewöhnliche Flasche wurde ein Kontrollfrosch gebracht. Beide Tiere verhielten sich in den ersten acht Tagen völlig gleich, am zehnten Tage jedoch stellten sich bei dem der Einwirkung der Emanation ausgesetzten Forsch schwere Erscheinungen von Apathie ein, und am vierzehnten Tage erfolgte der Tod. Der Frosch war nun selbst radioaktiv geworden und lieferte einen genauen Abdruck auf der photographischen Platte. Der Kontrollfrosch verhielt sich normal. — Zwei kleine Mäuse, die noch von der Mutter genährt wurden, setzte London der Emanation aus. Nach drei Tagen wurden sie apathisch und nach weiteren zwei Tagen gingen sie ein.

Gleiche Versuche stellten Bouchard, Curie und Balthazard an, indem sie Mäuse und Meerschweinchen in einen mit emanationshaltiger Luft gefüllten Raum brachten und zwar wurde die Luft ohne Verminderung der Emanation fortwährend erneuert. Die Versuchstiere bekamen zunächst Atembeschwerden, die Exspiration wurde kürzer, die Atempause länger, die Tiere rollten sich zusammen und verfielen schließlich in tiefe Apathie, wobei die Temperatur der Atmung stark herabging, bis schließlich der Tod eintrat. Die Sektion ergab Lungenhyperämie mit Hämorrhagien, Vermehrung der Leukozyten. Die Gewebe waren noch 3 Stunden nach dem Tode radioaktiv.

Auf verschiedene Weise verleibte Engelmann hochwertige Radiumemanation ein, nämlich z. T. intraarteriell, zum Teil intravenös, z. T. intralumbal, sowie per os. Er fand unmittelbar nach der Injektion eine bedeutende Leukozytose. Bei intraarterieller Applikation wurden die radioaktiven Stoffe von dem im Versorgungsgebiet der Arterie liegenden Gewebe in erheblicher Menge zurückgehalten. Intravenöse Injektion hatte Verlangsamung des Pulses und Vergrößerung der Pulsamplitude, die etwa zwei Stunden anhielt, zur Folge.

Während Engelmann berichtet, daß die durch Radiumemanation erzeugte Leukozytose länger anhält, als die vom Thorium erzeugte, konstatierte Pappenheim totales Verschwinden der Leukozyten und Lymphozyten am 3. Tage bei Einwirkung von Thorium X in tödlichen Dosen bei Kaninchen, die etwa am 4. Tage starben. Hierbei war das Knochenmark mit Blut angereichert, aber arm an Lymphzellen und Leukozyten. Auch die übrigen Organe (Lunge, Milz, Leber, Nieren) sind blutreich, zeigen aber nekrotische Prozesse an den Zellen. Die Leber erwies sich als besonders empfindlich, die Spermatogenese war intakt. Der scheinbare Widerspruch, daß in einem Falle von Leukozytose, im anderen Falle völliges Verschwinden der Leukozyten berichtet wird, findet darin eine Erklärung, daß, wie auch Plesch hervorhebt, Thorium X in kleinen Dosen ebenfalls als Reiz wirkt.

Bickel und Löhe sahen beim Kaninchen nach mehrstündiger Bestrahlung des Auges mit Mesothorium das Auftreten schwerer Konjunktivitis, Hornhauttrübung, bei Bestrahlung der Haut Haarausfall, Borkenbildung usw., kurz Erscheinungen, die mit den durch die Radiumbestrahlung hervorgerufenen Veränderung übereinstimmen.

Löhe vergiftete zwei Hunde durch Injektion von Thorium X und fand schwere hämorrhagische Veränderungen an den einzelnen Organen, sowie Blutungen in Darm und Nieren.

Prado Tagle untersuchte die durch Radium-Thorium erzeugten Gewebsveränderungen, indem er unter der Haut von Mäusen kleine Depots einer unlöslichen Radium-Thorium-Verbindung anlegte, nach einiger Zeit die Tiere tötete und das Gewebe mikroskopierte. Er fand eine aktive Einwirkung auf das

Gewebe, in dem sich eine wirkliche Entzündung, Erweiterung der Gefäße, Exsudation, leukozytäre Infiltration einstellte. Nach langer Einwirkung trat Karyolyse, Nekrose und Fibroblastenvermehrung ein. Die Radium-Thoriumpartikelchen wurden mit der Zeit vollständig resorbiert und an den nekrotischen Partien bildete sich eine Narbe.

Die besondere Empfindlichkeit der Milz gegenüber Mesothoriumstrahlen wird von Krönig und Gauß betont; sie bestrahlten eine Maus, die sich in einer Bleikammer mit 4 mm Wandstärke befand, 24 Stunden lang mit dem auf die Bleikammer gelegten Mesothorium; es kamen also vorwiegend die Gamma-Strahlen zur Wirkung. Die Sektion ergab eine weitgehende Zerstörung der Organzellen.

Wir haben im Vorstehenden eine kurze Darstellung der hauptsächlichsten Untersuchungen über das Problem der Einwirkung der Radiumstrahlen auf tierisches Gewebe gegeben und dabei auch die Frage berührt, ob den Radiumstrahlen eine elektive Wirkung innewohnt, so daß sie auf bestimmte Zellen oder Zellkomplexe intensiver einwirken als auf eine andere. Eine systematische Lösung dieser Frage hat sich nach den angeführten Resultaten nicht ergeben, indes sind immerhin Grundlagen geschaffen worden, deren wir uns bei der Therapie bedienen müssen. Wir dürfen schon nach den bisherigen Untersuchungen annehmen, daß das hämatopoetische und das Lymphsystem einer besonderen Einwirkung der Radioaktivität unterliegen, eine Annahme, die durch die später zu besprechende Veränderung des Blutbildes eine weitere Bestätigung findet.

Es ist ferner als feststehend zu betrachten, daß bei externer Applikation die Strahlen besonders kräftig auf die Epithelien einwirken, wie sich bei den Versuchen von London, Heinecke usw. gezeigt hat. Allerdings wird diese Einwirkung modifiziert je nach der zur Anwendung gelangenden Strahlengattung, von denen die Alpha-Strahlen am intensivsten wirken, aber nur an der Oberfläche, und am leichtesten durch entsprechende Filter absorbiert werden können, während die Beta- und Gamma-Strahlen eine mildere Wirkung und eine größere Durchdringungskraft haben.

Endlich haben die Untersuchungen gezeigt, daß die Radiumstrahlen besonders intensiv auf die jugendlichen Zellen einwirken, so daß diese durch eine geringe Dosis Strahlen leichter zum Wachstum angeregt werden, durch eine größere leichter der Zerstörung anheimfallen als die älteren Zellen. Diese ausgesprochen elektive Wirkung bildet geradezu ein Fundament für die Radiumtherapie krankhafter Neubildungen benigner und maligner Art; hierbei handelt es sich prinzipiell um die Vernichtung gewucherten Zellgewebes unter Schonung des normalen Zellgewebes, und die klinischen Beobachtungen bestätigen durch ebenso überraschende, wie erfreuliche Erfolge das biologische Experiment.

Ueber die Einwirkung der Radiumstrahlen wie der Emanation auf die gesunde und kranke menschliche Zelle, insbesondere auf die gesunde und kranke menschliche Haut, wie auf die zellulären und die ungeformten Blut- und Lymphbestandteile wird in den einzelnen Kapiteln des II. Teiles gehandelt werden, in denen die Therapie der in Betracht kommenden Krankheiten besprochen werden wird.

ZWEITER TEIL

Die therapeutische Anwendung der Radioelemente.

VI. Kapitel.

Rheumatische und gichtische Erkrankungen.

A. Dosierung und Applikation.

Maßsystem.

Unter der Gruppe der Radioelemente haben im wesentlichen das Radium in Form seiner Salze, die Emanation, das Mesothorium und das Thorium X, in geringem Maße auch das Aktinium Eingang in die Therapie gefunden, und zwar wird das Radium und das Mesothorium, wie auch das Aktinium so gut wie ausschließlich zur Bestrahlung benutzt, während die Emanation und das Thorium X bestimmt sind, eine auf den ganzen Organismus gerichtete Wirkung zu entfalten. Mit anderen Worten: Die Strahlungsenergie wird vorwiegend für lokale Zwecke benutzt, während die Radiumemanation und das Thorium X zur Herbeiführung einer allgemeinen Wirkung nach den mannigfachen Regeln der speziellen therapeutischen Methodik appliziert werden. Hierbei entspricht das Thorium X der Radiumemanation, weil die Thorium-Emanation als solche zufolge ihrer Kurzlebigkeit in der therapeutischen Technik nicht wie die Radiumemanation zu verwenden ist und statt ihrer die Muttersubstanz, das Thorium X mit einer Halbwertszeit von 3,7 Tagen verabreicht wird, als eine Quelle beständiger Emanationsentwicklung.

Bei der Neuheit der Materie ist es selbstverständlich, daß man in der Dosierung zunächst Vorsicht walten ließ, zumal die Feststellung der chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften der in Betracht kommenden Radioelemente ganz erhebliche Schwierigkeiten bot. In neuerer Zeit ist man zu ganz beträchtlich höheren Dosen übergegangen, ohne daß die über dieses Problem entstandene Divergenz der Ansichten in eine

Konvergenz oder gar in die einheitliche Linie der Uebereinstimmung übergegangen wäre. Wir werden sehen, daß mit den ursprünglichen kleinen Dosen der Emanation von kompetenter Seite bei einer Reihe von Krankheiten überraschende Erfolge erzielt worden sind, Erfolge, die nach den in der Literatur niedergelegten Publikationen durch Anwendung hoher Dosen vielfach auch nicht besser geworden zu sein scheinen, und man wird mit Recht sagen, daß kein Grund besteht, eine höhere Dosis anzuwenden, wenn derselbe Effekt mit einer kleineren zu erreichen ist.

Diese Ansicht ist jedoch cum grano salis aufzufassen. Es muß nämlich oberstes Gesetz in der Radiumtherapie sein zu individualisieren. Man kann sagen, daß jeder Krankheitsfall in jeder Beziehung gewisse Eigenheiten hat, die die Auswahl der individuell passenden Dosis zur Pflicht machen, wenn der Arzt mit der Radiumbehandlung einen guten Erfolg erzielen will.

Bekanntlich gibt es Fälle, z. B. von Gicht, die auf die Emanationsbehandlung absolut negativ reagieren, obwohl alle diagnostischen Merkmale ein schematisches, typisches Bild ergeben. Wenn auch nicht gesagt werden soll, daß die Dosierung der Emanation einzig und allein in diesen Fällen an dem Mißerfolg schuld sei, so darf man doch jedenfalls annehmen, daß die Applikation der spezifisch geeigneten Dosis in der individuell passenden Form die Möglichkeit eines besseren Resultates in sich schließt. Wir sehen dies z. B. an dem akuten Gelenkrheumatismus, der bisher beinahe als Kontraindikation für die Emanationstherapie betrachtet wurde, bis die Untersuchungen von Falta den günstigen Einfluß sehr hoher Dosen von Emanation ergaben. Aehnliche Verhältnisse liegen bei Neurasthenikern vor, bei denen die Anwendung der Radiumtherapie ganz besondere Vorsicht erheischt. Während der eine schon auf kleine Dosen mit Erregungszuständen reagiert, schlaflos wird und allerlei Erscheinungen einer Steigerung seiner nervösen Beschwerden erkennen läßt, verträgt der andere Patient mit einer viel schwereren Neurasthenie auch höhere Dosen ausgezeichnet und wieder bei anderen zeigt sich eine ausgesprochen schlaffördernde Wirkung schon kleiner Dosen von Emanation.

So wichtig es ist, die individuell passende Dosis in der individuell richtigen Form zu verabreichen, so schwierig ist diese Entscheidung zu treffen. Es gibt kein Merkmal, das im voraus erkennen ließe, wie dieser oder jener Patient auf die Applikation der Radiumemanation oder des Thorium X usw. reagiert, ob die Darreichung per os oder per inhalationem oder per kataphoresin die adäquate Form ist; es gibt kein Prognostikon, wie sich der Patient bei kleinen und wie er sich bei großen Dosen verhalten wird. Noch mehr erschwert wird das therapeutische Vorgehen durch die Erscheinungen der Reaktion, die bald auftreten, bald ausbleiben, und wenn sie auftreten, bald außerordentlich schwer nach kleinen Dosen, bald ganz geringfügig nach großen Dosen, ferner durch die Latenzperiode, während der sich sozusagen das Inkubationsstadium der therapeutischen Irritation abspielt, endlich durch die Nachwirkung, die sich in verschieden langer Zeit nach Beendigung der Kur in verschiedener Schwere einstellen oder auch ausbleiben kann, je nach der Konstitution des Patienten.

Unter diesen Umständen ist in der Hauptsache die Erfahrung ausschlaggebend, die der Arzt bei jedem einzelnen seiner Patienten sammelt und die er, exaktissime sortiert und konserviert, jedem einzelnen bei Wiederholung der Kur zugute kommen lassen muß, und die ferner der Patient durch Selbstbeobachtung unter der Anleitung seines Arztes zu sammeln in der Lage sein muß. Endlich müssen wir uns nach den Grundlagen richten, die uns das Experiment am gesunden Menschen liefert, wenngleich wir natürlich keinen Moment außer acht lassen dürfen, daß uns diese Grundlagen vornehmlich darüber aufklären, wie weit wir gehen dürfen, ohne durch die Therapie an sich etwa gar zu schaden. In noch viel höherem Maße gelten die Ueberlegungen für die Applikation der Radiumstrahlen, da der unter Umständen eintretende Nachteil von viel schwerwiegenderer und nachhaltigerer Bedeutung ist als bei der Emanationstherapie.

Die Voraussetzung zu einer exakten Dosierung, die auch Vergleichswerte liefert, ist vor allem ein einheitliches Maßsystem, dieses ist jetzt in Form der Macheeinheit angenommen. Noch bis vor kurzem rechnete man in Deutschland

nach Voltaabfall, in Frankreich nach Uraneinheiten, in England nach Radiumäquivalenten. Letztere Maßeinheit ist auf dem Internationalen Kongreß für Radiologie in Brüssel 1910 als Grundlage des Beschlusses benutzt worden, als Einheit künftig die von einem Gramm Radium ausgehende Wirkung und zwar Strahlen plus Emanation anzusetzen und als Standard ein möglichst reines Radiumpräparat zu benutzen, dessen Herstellung Frau Curie übertragen wurde. Nach diesem Etalon, der in Paris (Sèvres) niedergelegt ist (21,99 mg Ra Cl_2), werden Kopien im internationalen Verkehr zur Vergleichung der Präparate verwendet.

Die Uraneinheit gibt den Ionisationsstrom an, der von einer geaichten Platte von Uranoxyd in einem bestimmten Kondensator gebildet wird.

Der Voltabfall ist der am Elektroskop gemessene Spannungsabfall, bezogen auf eine Stunde und ein Liter Wasser.

Die M.-E. gibt die Intensität des Ionisationsstromes an, der von der in einem Liter Gas oder Wasser enthaltenen Emanation ausgeht, in elektrostatischen Einheiten, multipliziert mit 1000.

Die elektrostatische Einheit = $3{,}33 \cdot 10^{-10}$ Ampère = 1000 M.-E., bezogen auf 1 Liter.

Ein Curie ist die von einem Gramm metallischem Radium im Gleichgewicht gelieferte Emanationsmenge. Diese Einheit entspricht einem Strom von $2{,}67 \cdot 10^6$ elektrostatischen Einheiten = 2670 Millionen M.-E.

Ein Millicurie = 1/1000 Curie.

Ein Mikrocurie = 1/1 000 000 Curie.

Eine Milligrammminute ist die von einem Milligramm Radiumbromid in einer Minute entwickelte Emanationsmenge.

Eine Milligrammsekunde ist die von einem Milligramm Radiumbromid in einer Minute entwickelte Emanationsmenge; letztere beiden Maße sind von Löwenthal vorgeschlagen worden.

Inhalation der Radiumemanation.

Die Dosierung der Emanation steht im Zusammenhang mit der Applikationsweise. Man kann Emanation inhalieren, trinken lassen, auf kataphoretischem Wege einverleiben und ferner im emanationshaltigen Bad applizieren. Welche von diesen Methoden vorzuziehen sei, darüber hat sich in der Literatur und auf den medizinischen Kongressen eine lebhafte Diskussion abgespielt, auf die wir noch eingehend werden zu sprechen kommen.

Die ersten Untersuchungen über die physiologische Einwirkung der Emanation, über ihr Verhalten im Organismus rühren von Löwenthal her, dem sich später Gudzent anschloß sowie zahlreiche andere Autoren, die wir im Folgenden aufführen werden. Der Erste, der künstliche emanationshaltige Bäder herstellte, war von Neusser; er legte Uranpecherz, in Leder eingenäht, in ein gewöhnliches Wasserbad, erzielte einen Emanationsgehalt von 30 000 M.-E. und fand, daß das auf diese Weise aktivierte Bad recht günstige Wirkungen auf die untersuchten Krankheitsfälle, die in rheumatischen Erkrankungen der Gelenke, der Muskeln und der Nerven sowie in Fällen von Gicht bestanden, ausübte.

Nach den bisherigen Untersuchungen ist es als erwiesen zu betrachten, daß die Emanation entsprechend ihrem Charakter als vollkommenes Gas bei der Einatmung in die Lungen aufgenommen wird und von da ins Blut gelangt. Um also per inhalationem Emanation in den Organismus zu bringen, ist die notwendige Voraussetzung, daß die Atmungsluft Emanation enthält, und zwar in einem solchen Grade, daß eine nennenswerte Absorption des Gases im Blute erwartet werden darf und nachzuweisen ist.

Sowohl die Quellen vieler Orte, wie auch die Quellgase und infolgedessen auch bis zu einem gewissen Umfange die atmosphärische Luft enthält größere oder kleinere Mengen von Emanation, und wer Gelegenheit hat, diese radioaktiven Orte aufzusuchen, kann sich die von der Natur gelieferte Emanation zugute kommen lassen. Indes reichen die auf diese Weise zur Verfügung gestellten Emanationsmengen vielfach nicht aus, um einen nennenswerten Einfluß erwarten zu lassen, wenn auch nicht geleugnet werden kann, daß die Radioaktivität schon in der Luft, ob-

wohl sie sich in der Regel in ganz geringen Graden bewegt, geeignet ist, im Verein mit anderen Kurfaktoren eine günstige Einwirkung auf die menschliche Gesundheit zu entfalten. Zum ersten Male sind — auf Veranlassung des Herzoglich Sächsischen Staatsministeriums in Gotha — diesbezügliche Untersuchungen im Bereiche des Thüringer Waldes angestellt, und es wird durch systematische Feststellungen des Aktivitätsgehaltes die Frage gelöst werden, ob und inwieweit der günstige Einfluß der Luftkurorte im speziellen wie im allgemeinen auf dem Gehalt der atmosphärischen Luft an Emanation beruht und welche Maßnahmen evtl. getroffen werden können, um diese Wirkung zu systematisieren.

Indes wird der Arzt vielfach in die Lage kommen, die Emanation im Hause des Patienten oder wenigstens am Wohnorte zur Anwendung zu bringen, und diese Möglichkeit ist um so eher gegeben, als irgend ein Unterschied des Charakters der sozusagen künstlich, d. h. mittels Apparaten und Vorrichtungen entwickelten Emanation und der von der Natur in den Quellen und der Luft dargebotenen nicht besteht. Ferner ermöglicht die Anwendung von Apparaten eine Variation der Dosen, eine Steigerung von kleinen bis zu den größten Dosen, somit eine innige Anpassung an die Individualität des Patienten, und gerade hierauf ist, wie bereits aufgeführt, ein sehr hoher Wert zu legen. Zudem ist es ein angenehmes Gefühl für den Patienten wie für den Arzt, bei der Anwendung von Heilfaktoren unabhängig zu sein von Ort und Zeit und evtl. auch die mit einer Badereise verknüpften Kosten, die Berufsunterbrechung usw. zu sparen. Letzterer Vorteil, d. h. die Fortsetzung der Berufstätigkeit, kommt allerdings nur für die leichteren Fälle in Betracht, der Arzt muß sein besonderes Augenmerk darauf richten, zu prüfen, ob während einer Emanationskur die Fortsetzung der Berufstätigkeit möglich und zulässig ist. Im allgemeinen wird man eher dazu neigen, während einer solchen Kur, die doch immerhin je nach den Umständen mehr oder weniger angreifend ist, die Beobachtung einer völligen Ruhe zu empfehlen.

Die ersten zur Inhalationsbehandlung bestimmten Apparate wurden von Löwenthal und Gudzent angegeben; diese sogenannten Emanatorien sind so eingestellt, daß sie pro Liter zwei bis vier M.-E. abgeben, und zwar wird diese Emanation

mittels eines Sauerstoffstromes ausgetrieben, der durch eine radiumsalzhaltige Flüssigkeit hindurchtritt; durch einen Ventilator wird der mit Emanation gesättigte Sauerstoff in der Luft des Inhalationsraumes möglichst gleichmäßig verteilt; der Endeffekt

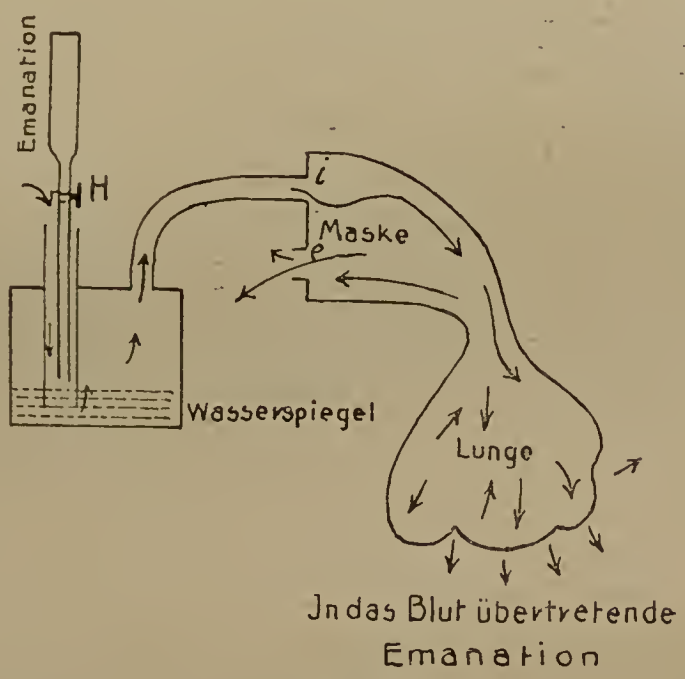


Fig 14

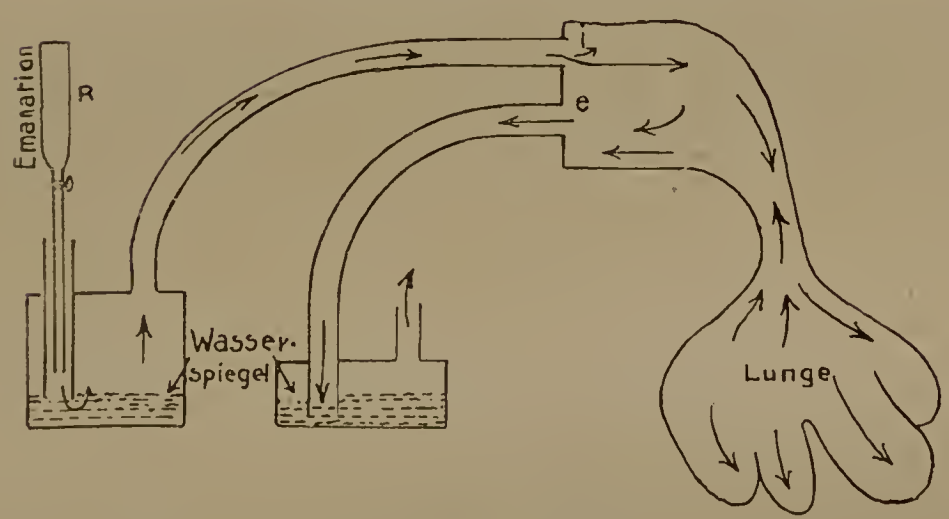


Fig 15.

ist also ein Gehalt von 2—4 M.-E. pro Liter Luft des Emanationsraumes.

Der Bickel-Engelmannsche transportable Inhalator ist so konstruiert, daß die vom Patienten eingeatmete Luft das mit Emanation gesättigte Wasser und darauf die mit Ema-

nation gesättigte Luft in einer Wulffschen Flasche passiert. Das im Behälter R enthaltene Emanationswasser, dessen Eintropfen in die Wulffsche Flasche durch einen Hahn reguliert werden kann, wird mittels eines Neumannschen Aktivators gespeist. Eine schematische Darstellung der beiden Modifikationen dieses Apparates ist in den vorstehenden Fig. 14 u. 15 gegeben. Der Unterschied zwischen beiden Anordnungen liegt darin, daß bei dem einen Apparat in die umgebende Luft, beim anderen unter Flüssigkeit ausgeatmet wird, so daß ein Teil der ausgeatmeten Emanation immer wieder mit eingeatmet wird und der Verlust der Emanation möglichst beschränkt ist. Der Emanationsgehalt der Atemluft beträgt bis zu 8 M.-E. pro Liter.

Ein besonderes Verfahren zur Einatmung der Emanation hat Lazarus angegeben, indem er komprimierten Sauerstoff radioaktiviert. Bringt man in einen Stahlzylinder, der 1500 Liter komprimierten Sauerstoff enthält, Radiumsalz, so ist die Sättigung mit Emanation nach vier Tagen erreicht. Rechnet man 100 M.-E. pro Liter, so enthält der Zylinder 150 000 M.-E. Den Niederschlag der Zerfallsprodukte der Emanation an den Wandungen des Stahlzylinders kann man durch Zuführung einer positiven Ladung abstoßen. Die emanationshaltige Ausatmungsluft des Patienten kann durch eine besondere Anordnung immer wieder zur Anreicherung der Einatmungsluft verwendet werden. Nach den angestellten Untersuchungen enthält das Gesamtblut nach Verlauf einer Stunde 500 M.-E.

Von Bennewitz ist ein Apparat zur Radiuminhalation konstruiert worden, der täglich eine garantierte Menge Emanation für einen Luftraum von 60 cbm liefert. Auch hierbei erfolgt die Austreibung der Emanation ebenso wie die Erneuerung der Luft im Apparat durch eine besonders konstruierte Luftpumpe. Auch sonst sind noch Vorrichtungen angegeben, die dem gleichen Zwecke dienen.

Alle transportablen Apparate haben naturgemäß den Nachteil, daß die durch die radiumsalzhaltige Flüssigkeit hindurchstreichende Luft die Emanation alsbald vollständig aus der Flüssigkeit austreibt und nun der Apparat nicht benutzbar ist, bis durch Zerfall des gelösten Radiumsalzes wiederum genügend Emanation gebildet und an die Flüssigkeit abgegeben worden ist.

Besondere Einrichtungen hat man in den Kurorten getroffen, deren Aktivitätsgehalt als ausreichend erachtet wurde, um als besonderer Vorzug vor weniger begünstigten Kurorten hervorgehoben zu werden. Mittels mehr oder weniger komplizierter Anlagen wird entweder die Emanation aus dem Quellgase benutzt oder eine Kombination beider Emanationsquellen vorgesehen. Auf diese Weise wird z. B. in Teplitz im Emanationsraum von 125 cbm nach zweistündigem Betriebe 1,37 M.-E., nach 12-stündigem Betriebe 5 M.-E. pro Luftliter erzielt. In Brambach enthält der Liter Luft im Emanatorium, gemessen in Kopfhöhe des Sitzenden, rund 10 M.-E.

In Kreuznach, wo die aus den Spalten eines im Kurpark ausmündenden Porphyrstollens ausströmende Emanation verwendet wird, ergaben Messungen im Jahre 1912 im Inhalatorium einen Gehalt von 13,5 bis 25 M.-E. im Liter Luft.

Der Aufenthalt im Emanatorium beträgt in der Regel täglich 2 Stunden.

Bei der Einatmung dringt die Emanation in die Alveolen und wird vom Blute absorbiert, und war verhält sie sich dem Blute gegenüber wie ein echtes Gas. Es ist anzunehmen, daß hinsichtlich der Absorption die für die Gase geltenden bekannten physikalischen Gesetze wirksam sind, nach denen die Menge des absorbierten Gases im wesentlichen abhängig ist von dem Luftdruck (H e n r y' sches Gesetz) bezw. in einem Gasgemisch proportional dem Partialdruck (H e n r y - D a l t o n 'sches Gesetz). Dementspechend findet auch die Ausscheidung aus dem Blute statt, im wesentlichen also durch die Lunge (L ö w e n t h a l , L a s k a und F l e i s c h m a n n u. a.).

Nun bestünde allerdings die Möglichkeit, daß die Emanation eine besondere Affinität zum Blute oder zu einzelnen Bestandteilen des Blutes haben könnte, etwa wie der Sauerstoff, der sich mit dem Hämoglobin zu einer zwar labilen, aber doch unabhängig vom Luftdruck entstehenden chemischen Verbindung vereinigt. Auf derartige Vorgänge scheinen die Untersuchungen von G u d z e n t hinzudeuten, der nach zwei- bis dreistündigem Aufenthalt der Patienten im Emanationsraum eine Anreicherung des Blutes an Emanation fand und zwar um das Siebenfache der im Liter

der Einatmungsluft enthaltenen Emanation. Diese Angaben wurden von Marckwald und Bennewitz bestätigt und ebenso von Kionka.

Gudzent ist der Ansicht, daß schon nach 15 Minuten ein Gleichgewicht zwischen dem Gehalt des Blutes an Emanation mit dem der umgebenden Luft eintritt und daß sich nach zwei Stunden bereits die vier- bis fünffache Menge im Blute nachweisen lasse. Er schließt auch daraus, daß die Untersuchung der Ausatmungsluft keinen sicheren Hinweis auf den Emanationsgehalt des Blutes bietet.

Seine Anschauungen werden lebhaft bekämpft von Lazarus, der eine solche Anreicherung niemals konstatieren könnte; im gleichen Sinne äußern sich u. a. Strasburger und Kemen, Wiechowsky und von Knaffl-Lenz. Diese Autoren sind der Meinung, daß der Gehalt des Blutes an Emanation einmal unabhängig ist vom Einführungsweg, sodann proportional der zugeführten Emanationsmenge, des ferneren die Absorption der Emanation vom Blute nach den für alle chemisch indifferenten respirablen Gase geltenden physikalischen Gesetzen erfolgt.

Plesch untersuchte die Frage, in welchen Mengen in vitro die Emanation vom Blute absorbiert wird und fand, daß der Absorptionskoeffizient bei Körpertemperatur etwa 0,2 beträgt, also um etwa 10 Prozent niedriger ist als der Absorptionskoeffizient der Emanation gegen Wasser.

Die gekennzeichnete Differenz hat auf die von den beiden Richtungen vertretene therapeutische Methodik einen großen Einfluß. Es ist zur Zeit nicht möglich, sich ein definitives Urteil darüber zu bilden, welche von beiden Parteien recht hat und welcher von beiden die ganz außerordentlich groben Irrtümer bei den experimentellen Untersuchungen zugeschrieben werden müssen. Denn um grobe Irrtümer kann es sich nur handeln, wenn der eine Autor beträchtliche Mengen Emanation im Blute angereichert vorfindet, während der andere „bei vielen hundert Blutmessungen niemals eine Anreicherung hat wahrnehmen können". In therapeutischer Hinsicht wird der entstandene Zwiespalt durch die praktische Erfahrung überbrückt; dieser Zwiespalt erstreckt sich auch auf die Frage, ob die Inhalationsmethode

oder die Trinkmethode vorzuziehen sei. Wir kommen hierauf noch zurück.

Nachdem die Emanation ins Blut eingedrungen ist, wird sie vom Blutstrom durch den Körper nach den einzelnen Organen geleitet, dringt aber auch direkt durch die Gewebe. Ein Teil wird naturgemäß unter Abgabe von Alpha-Strahlen in die weiteren Zerfallsprodukte Radium A, B, C und D übergehen, die sich als radioaktiver Niederschlag im Organismus verankern. Von diesen Abbauprodukten der Emanation wird von Gudzent speziell dem Radium D eine außerordentlich wichtige Wirkung zugeschrieben. Er meint, nachgewiesen zu haben, daß das schwach betastrahlende, in der Entwicklungsreihe des Radiums so ziemlich am Ende stehende Radium D mit einer Halbwertszeit von 16,5 Jahren ganz gewaltige chemische und physikalische Wirkungen hervorzurufen vermag, indem dieser Körper sich im Organismus deponiere und ihn so auf Jahre hinaus unter Radiumwirkung setze.

Ganz besonders wurde dem Radium D von Gudzent und His eine Einwirkung auf den Harnsäurestoffwechsel zugeschrieben und zwar im Sinne einer Umwandlung der unlöslichen Form des Mononatriumurats (Laktimurat) in das leichter lösliche Laktamurat und weiterhin im Sinne einer Zerstörung der Harnsäure und ihrer Salze bis zu Kohlensäure und Ammoniak.

Auch in dieser Hinsicht nimmt Lazarus einen völlig konträren Standpunkt ein. Er hat gemeinsam mit Kerb die Gudzentschen Untersuchungen nachgeprüft und festgestellt, daß das Radium D in vitro keinerlei Einwirkung auf die Zerlegung des harnsauren Natriums ausüben kann; wohl aber fand bei Anwesenheit von Schimmelpilzen und Bakterien eine Zersetzung des Urats statt, so daß Lazarus zu der Ansicht kommt, daß Gudzent die Experimente nicht unter Beobachtung völliger Sterilität angestellt und irrtümlicherweise die gefundenen Resultate dem Radium D zugeschrieben habe, während sie in Wirklichkeit den Bakterien zugeschrieben werden müßten.

Plesch injizierte Radium D bei einem Gichtiker intravenös, ohne daß irgend ein Erfolg eingetreten wäre.

Abgelagerte Mineralwässer enthalten bekanntlich keine Emanation mehr, sondern nur noch Zerfallsprodukte, darunter auch Radium D. Nach der Gudzentschen Theorie müßten diese deshalb besonders wirksam sein, was jedoch erfahrungsgemäß nicht der Fall ist.

Die bei der weiteren Umwandlung des Radium D in Radium F freiwerdende Energie ist viel zu gering, als daß irgend eine Einwirkung erwartet werden könnte (Lazarus).

Auch bezüglich dieser Frage kann eine kritische Stellungnahme für den unbefangenen Dritten nur zu einem „non liquet" führen, und wir müssen uns auch hier eben an die praktischen Erfahrungen halten.

Diese lehren, daß auf die Aufnahme der Emanation ins Blut nach Geltendmachung bestimmter Wirkungen im Organismus eine Ausscheidung erfolgt und zwar im wesentlichen durch die Lunge. Ein bestimmter Teil der Emanation zerfällt im Innern des Körpers und bleibt als radioaktiver Niederschlag im Gewebe zurück. Nach den Untersuchungen von Plesch wird die Emanation um so rascher durch die Lungen aufgenommen und wieder abgegeben, je mehr das Individuum sich bewegt; je ruhiger es sich verhält, desto langsamer verlaufen die beiden Prozesse. Diese Ansicht ist begründet durch die Tatsache, daß die Aufnahme und Abgabe der Emanation hinsichtlich ihrer Geschwindigkeit im direkten Verhältnis zur Zirkulationsgeschwindigkeit des Blutes steht. Aus diesem Grunde zweifelt Plesch auch daran, daß durch die Inhalation, bei der eine rasche Ausscheidung der Emanation erfolgt, eine zu therapeutischen Wirkungen ausreichende Imprägnation des Körpers mit Emanation stattfinden könnte. Nach seiner Ansicht läßt sich eben eine therapeutische Wirkung nur durch länger dauernde Durchtränkung des Organismus mit Emanation erzielen, und um dieses zu erreichen, wäre ein mehrstündiger Aufenthalt im Emanatorium notwendig.

Es ergibt sich hieraus für die Praxis der wichtige Grundsatz, mehrfach täglich Emanation inhalieren zu lassen, falls der individuelle Fall eine möglichst dauernde Durchsetzung des Körpers mit Emanation wünschenswert oder notwendig erscheinen läßt. Ebenso ergeben sich aus der geringen Verweildauer der Ema-

nation im Körper für die Einrichtung radioaktiver Bäder, bei denen nach Ansicht zahlreicher Autoren die Aufnahme der Emanation lediglich durch Inhalation erfolgt, gewisse Vorschriften, insbesondere dürfen die Baderäume nur mäßig groß sein, nach Einlassung des Wassers nur mittels besonderer Vorrichtungen ventiliert werden, die Badewanne muß genügend Raum über dem Wasser haben, damit sich die Emanation ansammeln kann und aus dem gleichen Grunde soll sich der Badende im Wasser ruhig verhalten, um einen Luftwechsel zu vermeiden, der mit einem Verlust von Emanation verbunden sein würde (Löwenthal). Hiergegen wird allerdings von anderer Seite geltend gemacht, daß durch angemessene Bewegung des Badenden erst die Emanation aus dem Wasser in Freiheit gesetzt, in genügender Menge in die Luft übergeführt und so der Badende in die Lage gesetzt wird, eine zur Inhalation ausreichende Menge Emanation einzuatmen.

Man kann im allgemeinen sagen, daß die durch Inhalation eingeführte Emanation kurze Zeit (in etwa ½ Stunde, Lazarus, nach Löwenthal in 3—4 Stunden) nach Aufhören der Inhalation wieder aus dem Körper ausgeschieden ist, und zwar im wesentlichen durch die Lunge, ein kleiner Teil wird aber auch durch die Haut, den Schweiß, den Speichel und die Brustdrüsen, durch die Nieren und endlich durch den Verdauungskanal eliminiert.

Die Frage, ob eine Ausscheidung von Emanation durch den Urin stattfindet, hat ebenfalls zu einer ausgedehnten Diskussion geführt. Elster und Geitel wiesen nach, daß ein minimaler Bruchteil im Harn ausgeschieden wird; dieser Bruchteil wird von Löwenthal auf ein Tausendstel der zugeführten Menge berechnet. Kionka untersuchte die Resorption und Elimination der Emanation mittels eines Wassers von durchschnittlich 100 Macheeinheiten, das gleiche mittels einer Luft von 5 Macheeinheiten pro Liter. Sowohl beim Kaninchen wie beim Menschen fand er nach Inhalation (wie nach Trinken) von Emanation diese im Harn, und zwar bleibt bei seinen Versuchen die Ausscheidung nach dem Trinken länger nachweisbar als nach der Einatmung, ebenso bei Verabreichung der Emanation in den vollen Magen. Weiterhin konnte August Laqueur mittels

des Fontaktoskopes die Emanationsausscheidung mit Sicherheit im Harn nachweisen. Ebenso äußern sich W. Laqueur und Bergwitz, die nach der Versuchsanordnung von Elster und Geitel die Frage ebenfalls geprüft haben.

Nach Mitteilung von Louis Wickham zeigte der Harn nach Einspritzung von radiumhaltigem grauem Oel Aktivität.

Kohlrausch und Mayer bedienten sich der Kataphorese, d. h. der mittels des elektrischen Stromes bewerkstelligten Einführung von Ionen in bezw. durch die lebende Haut von der positiven Elektrode aus, um Emanation in den Körper einzuführen (siehe Seite 175). Hierbei gelang es ihnen, Emanation auch im ausgeschiedenen Harn nachzuweisen und somit für diese Applikationsart eine Frage zu lösen, die bezügl. der Inhalation — und der Trinkmethode — noch strittig ist. Bei den Bestimmungen der Ausscheidung im Urin setzten die Autoren ca. 30 Tropfen Olivenöl zu der zu untersuchenden Flüssigkeit, um auf diese Weise das Schäumen zu verhüten, da der beim Schütteln entstehende Schaum den Spannungsabfall der Blättchen des Elektroskopes beeinflußt.

Im Gegensatz zu oben genannten Autoren konnten Kohlrausch und Plate, Nagelschmidt, Riedel, Strasser und Selka sowie Sommer im Harn nach Inhalation und nach Trinken gar keine oder eine ganz inkonstante Ausscheidung von Emanation beobachten. Kohlrausch und Mayer sowie Neumann stellten, da sie im Harn eine Ausscheidung nicht nachweisen konnten, Versuche darüber an, ob nicht die Emanation zu einem gewissen Teile durch die Haut ausgeschieden wird; der positive Ausfall dieser Versuche führte zur Begründung der soeben erwähnten Radiumiontophorese bezw. -kataphorese, d. h. zur perkutanen Einführung der Emanation unter Mitwirkung des elektrischen Stromes.

Auch wenn die experimentellen Bestätigungen seitens einer großen Reihe Autoren nicht vorlägen, würde man doch a priori geneigt sein, eine Ausscheidung der Emanation im Harn anzunehmen, zumal da nach den Untersuchungen von Eichholz das gesamte Körpergewebe von der Emanation durchsetzt wird und ferner Lazarus die interessante Tatsache festgestellt hat, daß

ein Teil der inhalierten Emanation in den Darm ausgeschieden und aus demselben von neuem resorbiert wird, so daß eine innige Berührung (durch Diffusion) mit allen Körpergeweben und natürlich mit allen Körperflüssigkeiten als notwendige Folge erscheint. Die Größe der Ausscheidung schwankt zwischen $^1/_{1000}$ und $^1/_{4000}$ der inhalierten Menge.

Die von Lazarus beobachtete Ausscheidung und Wiederaufsaugung der Emanation, also der Abschluß eines intermediären Kreislaufes, ausgehend von der Lunge und über den Magen-Darm zur Lunge zurückführend, entspricht der Neigung der Emanation sich in Hohlräumen anzusammeln. Es kann also eine erhebliche Menge in die Magenhöhle hinein diffundieren. Der gleiche Prozeß findet im rückläufigen Sinne statt bei der Ausscheidung der per os zugeführten Emanation in die Lungenalveolen, so daß also dieser intermediäre Kreislauf ohne Unterschied der Applikationsart sich abspielt. Lazarus neigt dazu, der bei der Inhalationsmethode sich einstellenden sekundären Aufsaugung der Emanation aus dem Magendarmtraktus eine besonders wesentliche Rolle zuzuschreiben; abgesehen davon aber hält er den Einführungsweg für gleichgiltig, für ausschlaggebend allein die Dosis und stellt den Satz auf, daß die gleiche Dosis auch die gleiche Wirkung entfaltet, mag sie nun getrunken oder inhaliert werden. Wohlverstanden kann es sich allerdings nicht um die verabreichte Dosis, sondern um die wirklich ins Blut entweder von der Lunge oder vom Darm aus aufgenommene Emanationsmenge handeln.

Trotz einer Reihe von theoretischen Kontroversen und wissenschaftlichen Lücken steht die Tatsache unbestreitbar fest, daß erstens mit dem Emanatorium von 2—4 Macheeinheiten pro Luftliter in einer Reihe von Fällen der hier zur Besprechung stehenden Krankheiten gute Erfolge erzielt worden sind, zweitens daß die Inhalationsmethode eine durchaus geeignete und viel bewährte Applikationsart der Emanationstherapie ist.

Trinkmethode.

Gegenüber den Anhängern der Inhalationsmethode machen die Freunde der Trinkkur eine Reihe von Argumenten geltend, die in folgendem kurz besprochen werden sollen. Der

fundamentale Unterschied zwischen der Trink- und der Inhalationsmethode besteht darin, daß bei ersterer im Verdauungstraktus sozusagen ein Depot geschaffen wird, von dem aus immer von neuem, solange wie Emanation vorhanden ist, dieses wirksame Gas ins Blut aufgenommen werden kann, so daß von innen heraus vermöge der Diffusion eine gleichmäßige und relativ langdauernde Durchtränkung des Körpers gewährleistet wird.

Im Gegensatz hierzu wird die Zufuhr der Emanation bei der Inhalationsmethode unterbrochen, sobald der Patient das Emanatorium verläßt, und er müßte, um per inhalationem eine gleich langdauernde und gleich intensive Imprägnation zu erzielen, viele Stunden in dem Inhalationsraum sich aufhalten; da nun dieser Inhalationsraum im allgemeinen mit Rücksicht auf die Erreichung einer größtmöglichen Konzentration der Emanation recht klein ist und nach Angabe mancher Autoren möglichst nicht ventiliert werden soll, so ist in der Tat ein vielstündiger Aufenthalt in einem solchen Raume gemeinschaftlich mit anderen Leidensgefährten nicht unbedenklich, ganz abgesehen davon, daß doch immerhin eine recht kleine Anzahl von Personen in einem solchen Emanatorium Platz finden kann. Alle diese Nachteile fallen bei der Trinkmethode weg. Eine Beanspruchung der Zeit ist kaum erforderlich; der Patient erhält mehrfach täglich etwa 200 ccm Flüssigkeit, die er, allerdings möglichst schluckweise und bei vollem Magen, trinken soll, ist aber im übrigen vollkommen unabhängig, auch nicht einer etwaigen Schädigung durch verdorbene Luft ausgesetzt. Wir teilen die Ansicht von Mache und Süß, daß in physikalischer Hinsicht die Inhalation ebenso wie das Trinken geeignet erscheint, dem Blute Radiumemanation zuzuführen, und längere Zeit darin zu erhalten, und daß die Inhalation eine exaktere Dosierung zuläßt, während die Trinkkur bequemer und billiger ist.

Plesch äußert sich über die Trinkkur in dem Sinne, daß er ihr eine langsamere, weniger intensive und extensive, dafür aber nachhaltigere Wirkung zuschreibt.

Es ist behauptet worden, daß die getrunkene Emanation garnicht ins arterielle Blut gelange, sondern auf dem Wege über die Pfortader, die Venae cavae und das rechte Herz in die Lungen und von da in die Atmungsluft gelange. His und Gudzent

stellten die These auf, daß die getrunkene Emanation mit den nächsten Atemzügen den Körper wieder verläßt. Natürlich wäre dann eine Wirksamkeit so gut wie ausgeschlossen. Indes ist von zahlreichen Seiten dieser These aufs lebhafteste widersprochen worden. Kemen und Neumann fanden, daß bei der Trinkmethode die Emanation auch ins arterielle Blut gelangt und unabhängig von der zugeführten Menge zweieinhalb bis drei Stunden im Körper zirkuliert. Kemen hat auch Blutuntersuchungen nach Inhalationen vorgenommen und z. B. bei einem Gehalt von 80 M.-E. pro Liter Luft des Inhalatoriums im Blute einen Emanationsgehalt von nur 40 M.-E. pro Liter festgestellt. Bei Emanationsbädern von 100 M.-E. pro Liter Wasser waren nach einem viertelstündigen Bad in 1000 g Blut nur etwa 4 M.-E., nach einstündigem Bad 9½ M.-E. enthalten. Daraus ergibt sich, daß, wenn auch die gefundenen Zahlen recht hohe sind, doch immerhin ein nur geringer Teil der per inhalationem zugeführten Emanation vom Blute absorbiert wird, nämlich ½ bis ⅕ der im Luftliter enthaltenen Emanation.

Dagegen ist von Strasburger experimentell festgestellt worden, daß beim Passieren des durch die Trinkmethode aktivierten Blutes durch die Lungen nur etwa 60 % der absorbierten Emanation an die Alveolarluft abgegeben werden, während 40 % im Blute verbleiben; außerdem wird ein erheblicher Teil der ausgeschiedenen Emanation bei der Atmung wiederum resorbiert.

Eichholz, der sich mit diesen Verhältnissen beschäftigte, konnte ebenfalls nachweisen, daß die Emanation in das arterielle Blut übergeht, und Kemen fand, daß der Emanationsgehalt des Blutes beträchtlich höher ist, wenn die Emanation getrunken wird, als wenn sie inhaliert wird. Eine allgemeine Verbreitung der Emanation im Körper vom Darm aus ist schon deshalb anzunehmen, weil die Emanation durch das gesamte Körpergewebe hindurchzudiffundieren vermag, was wiederum daraus ersichtlich, daß Emanation durch die Haut ausgeschieden wird. Kemen konstatierte, daß 15 Minuten nach Beendigung einer zweistündigen Inhalation im Blute keine Emanation mehr, daß dagegen nach einmaligem Trinken von Emanationswasser zweieinhalb bis drei Stunden hindurch Emanation im Blute nachweisbar ist.

Man darf annehmen, daß die innerliche Verabreichung von Emanation zum mindesten eine wichtige Ergänzung der Inhalationstherapie, für viele Fälle aber die indizierte Applikationsmethode darstellt. Eichholz hat umfangreiche systematische Untersuchungen angestellt, um das Für und Wider experimentell zu erörtern und zu klären. Seine Resultate sind folgende.

„1. Die Aufnahme der Radiumemanation in das Blut und die Ausscheidung aus dem Körper bei der Trinkkur wird verzögert durch einen vollen Magen und durch eine geringe Wassermenge (20 bis 100 g).

2. Sie wird umgekehrt beschleunigt durch leeren Magen und größere Wassermenge (500 bis 1000 g).

3. Bei Berücksichtigung dieser Tatsachen kann die Aufnahme der Radiumemanation per os in vollem Maße den Anforderungen gerecht werden, genügende Zeit in wirksamer Dosis das Blut mit Emanation zu beladen.

4. Die Aufnahme der Emanation als Getränk gewährleistet die volle Ausnutzung der eingeführten Menge ohne nennenswerten Verlust.

5. Inhalationen haben ohne Zweifel therapeutische Erfolge zu verzeichnen. sind aber im Vergleich zu rationell vorgenommenen Trinkkuren kostspieliger, zeitraubend und umständlicher. Ihr Emanationsbedarf ist dreimal so hoch wie bei der Trinkkur.

6. Die Applikation der Emanation in Form von Bleibeklystieren (1000 bis 2000 M.-E. auf 200 g Wasser) ist bei Erkrankungen der Beckenorgane und habitueller Obstipation angezeigt.

7. Bei der Dosierung der Trinkdosis ist die Füllung des Magens zu berücksichtigen. Bei gefülltem Magen ist die Dosis erheblich höher zu wählen als bei leerem. Bei leerem Magen ist bei hohen Dosen Vorsicht geboten." (Berl. klin. Woch. 1911 Nr. 37.)

Auch Bickel betont, daß es bei der Inhalation nicht gelingt, eine höhere Aktivität des Blutes zu erzielen, während bei der Trinkkur dies möglich sei.

Bei Einbringung von Emanationswasser ins Duodenum von Versuchstieren stellte Strasburger fest, daß die Emanation ins arterielle Blut übergeht und sich nach einer Viertelstunde

in erheblichen, nach dreiviertel Stunden in noch größeren Mengen nachweisen läßt. Um also den Emanationsgehalt des Blutes auf einer gleichmäßigen Höhe längere Zeit hindurch zu erhalten, wird man etwa alle 10 Minuten eine Dosis per os zu sich nehmen, z. B. bleibt beim Menschen während einer Trinkperiode von 1000 M.-E. in kleinen Dosen der Emanationsgehalt des Blutes über eine Zeit von 70 Minuten auf einer Höhe von 2 M.-E. bestehen. Wie Strasburger hervorhebt und wie sich aus den Versuchen von Kemen ergibt, bedarf es, um das gleiche Ziel durch Inhalation zu erreichen, etwa des Doppelten oder Dreifachen an Emanationsaufwand, da eben der Emanationsgehalt der Atmungsluft nicht voll ausgenutzt wird.

Es könnte vielleicht in der Bildung des radioaktiven Niederschlages auf der Haut des im Emanationsraum Inhalierenden ein Vorteil gegenüber der Trinkkur erblickt werden, bei welcher sämtliche Zerfallsprodukte im Innern des Organismus aufgespeichert werden. Für manche Fälle, wo eine direkte milde Beeinflussung der Haut durch die Strahlung des aktiven Niederschlages erwünscht ist, soll man dann eben entsprechend verfahren. Im übrigen ist die Diskussion über den Wert des Gemenges an Zerfallsprodukten innerhalb wie außerhalb des Organismus noch lange nicht geschlossen; wir sahen oben, daß Lazarus dem Radium D so gut wie jeden pharmakodynamischen Wert abspricht, während Gudzent in dem Radium D das eigentlich wirksame Prinzip der ganzen Radiumtherapie zu erblicken geneigt ist.

Des weiteren sei darauf hingewiesen, daß die direkte Berührung der Verdauungsfermente mit der Emanation eine Aktivierung nach den Feststellungen von Braunstein, Bergell, Bickel, Wohlgemuth, Löwenthal, Edelstein usw. erzeugen kann, ebenso wie eine Einwirkung auf die Blutfermente, insbesondere auf dem Wege der Eingangspforte durch die Pfortader und Vena cava, wie andererseits durch die Lymphgefäße und den Ductus thoracicus. Allerdings findet eine solche Einwirkung auch durch die per inhalationem in das Blutgefäßsystem gelangte und zum Teil in das Cavum des Magens und des Darmes ausgeschiedene Ema-

nation statt, aber gewiß ist die Dosis, die bei der Trinkkur unmittelbar zur Wirkung kommt, eine größere.

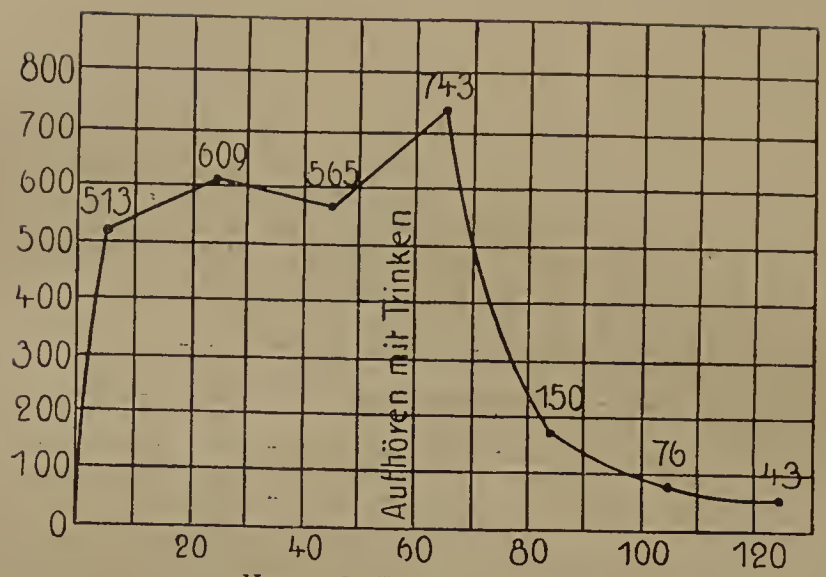
Um eine Trinkkur sachgemäß durchzuführen, bedarf man natürlich brauchbarer Apparate und Präparate. So selbstverständlich das ist, so wenig ist dieses primitive Postulat in der ersten Zeit der Radiumtherapie berücksichtigt worden. Ja es hat selten ein Gebiet, das für die Erschließung durch die Industrie reif war, gegeben, auf dem in ähnlicher Weise gesündigt worden wäre, wie auf dem Gebiete der Radiumindustrie. Zur Entschuldigung muß bemerkt werden, daß über die chemische und physikalische Natur des Radiums und seiner Derivate lange Zeit hindurch Unklarheit bestand, und daß es von diesem Gesichtspunkt aus begreiflich erscheint, wenn z. B. emanationshaltige Flüssigkeit noch monatelang nach Herstellung als radiotherapeutisches Mittel für teures Geld verkauft wurde, obwohl die Emanation längst zerfallen war, ebenso daß z. B. einem Wismuthsalz, das durch Bestrahlung radioaktiv gemacht worden war, besondere Wirkungen im Sinne der Radiumtherapie zugeschrieben wurden, d. h. von Seiten des Fabrikanten. Also einmal waren die Präparate untauglich, weil sie auf falsche Voraussetzungen hin oder überhaupt vom Geiste des in der chemisch-pharmazeutischen Industrie vielfach auftauchenden Raubrittertums hergestellt und lanziert wurden, sodann war ihre Aktivität, wenn solche überhaupt vorhanden war, zu schwach, um eine Wirkung, geschweige denn eine therapeutische Wirkung hervorzurufen, und endlich waren die Meßmethoden der Radioaktivität noch so unentwickelt, daß man, wie man zu sagen pflegt, die Katze im Sacke kaufen mußte, eine Kontrolle nicht möglich war und ebensowenig eine Verständigung, da man sich über ein einheitliches Maßsystem, über die Festsetzung von Standardpräparaten und internationale Einheiten noch nicht geeinigt hatte.

Die Entwicklung der theoretischen Forschung und die praktischen Erfahrungen haben nunmehr aber für die Methodik der Trinkkur bestimmte Grundsätze geschaffen, und zwar wird die beabsichtigte Wirkung am besten durch eine fraktionierte Darreichung erreicht, wie die Untersuchungen von Strasburger, Kemen, Eichholz, Mesernitzky, Spartz u. a. ge-

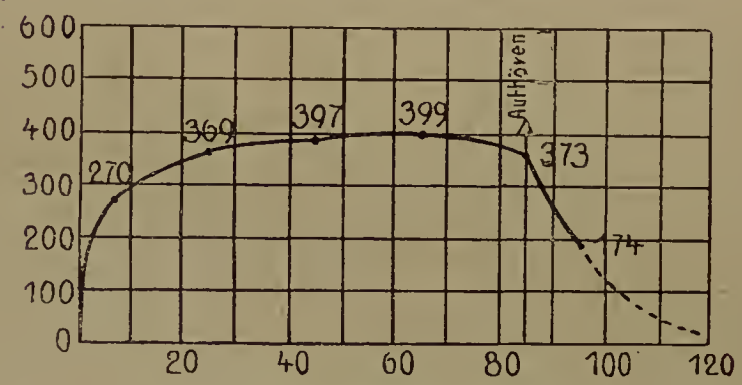
zeigt haben. Kemen fand, daß ein zu kleines Wasserquantum auf die Resorption ungünstig einwirkt, indem bei gleichbleibendem Emanationsgehalt die Verdoppelung des Wasserquantums eine Erhöhung des Emanationsniveaus im Blute um das Doppelte zur Folge hatte. Dasselbe bestätigt u. a. Eichholz in den ersten beiden seiner oben auf Seite 162 zitierten Thesen.

Lazarus empfiehlt in kleinen Zwischenräumen etwa alle halben Stunden, eine bestimmte Dosis zwei bis drei Stunden hindurch zu nehmen, z. B. 2000 M.-E. in 10 Einzeldosen à 200 M.-E. jede zwanzigste Minute; hierbei erhält das Blut nach 20 Minuten 20 bis 30 M.-E. pro Liter, entsprechend etwa 1000 M.-E. in der gesamten diffusiblen Körpersubstanz. Die tägliche Menge M.-E. soll bei den zur Besprechung stehenden Krankheiten im Anfang etwa 1000 betragen und allmählich etwa jeden zweiten Tag um je 1000 bis auf 5000 bis 10000, evtl. auch mehr ansteigen. Die Gefahr einer Vergiftung ist sehr gering, wenn innerhalb der therapeutischen Dosen überhaupt vorhanden; eine Art Idiosynkrasie, wie sie sich beim Thorium X geltend machen kann, ist bei Anwendung der Radiumemanation unseres Wissens noch nicht beobachtet worden, es sei denn, daß man die gelegentlich recht stürmisch verlaufenden Reaktion als Aeußerung einer Intoxikation auffassen möchte. Die Versuche an Tieren von London, Heinecke usw. sind bekannt, die hierbei verwandten Dosen (Emanation von 10 mg Radiumbromid, 3 bis 4 Tage, bezw. 1 gr Radiumsalz 50 Stunden) sind so hohe, daß sie therapeutisch beim Menschen nicht in Betracht kommen. Leichte Erscheinungen von Kopfweh, Ohnmachtsanwandlungen, allgemeinem Unbehagen, alles Symptome leichten Grades, ohne nachhaltige Störung des Befindens, sind gelegentlich, besonders bei neurasthenischen Personen beobachtet worden.

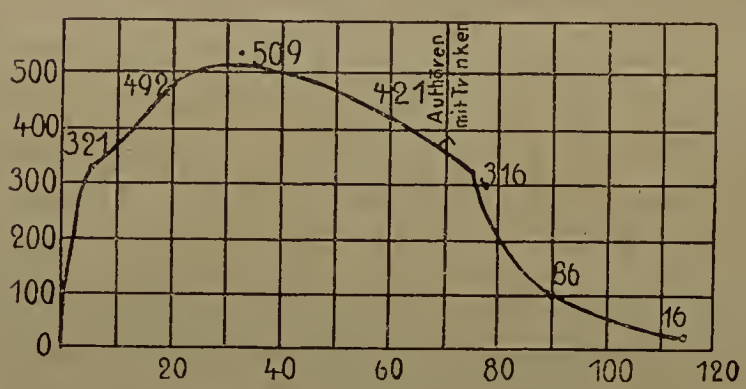
Interessant sind die Versuche, die Spartz an der Strasburgerschen Klinik anstellte. Die nachfolgenden Kurven geben den Inhalt und die Ergebnisse seiner Experimente wieder. Kurve I ist die Wiedergabe eines Trinkversuches mit 875 M.-E. in 70 ccm Emanationsflüssigkeit; es wurden zu Beginn 10 ccm getrunken, alle weiteren 5 Minuten je 5 ccm. Die Kurve gibt den Emanationsgehalt der Exspirationsluft wieder, wobei die



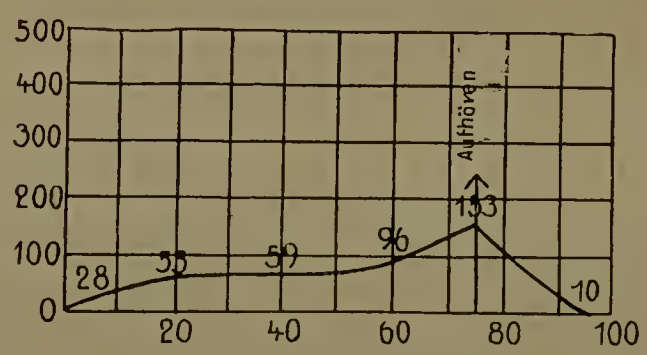
Kurve I (Trinkversuch).



Kurve II (Inhalationsversuch).



Kurve III (Trinkversuch).



Kurve IV (Inhalationsversuch)

Zahlen der Ordinate den Voltabfall, der Abszisse die Minutenzahl angeben.

Kurve II demonstriert einen Inhalationsversuch, der mit 4750 M.-E. Aufwand in 380 ccm Wasser angestellt wurde; es wurden vermittels Pipette zu Beginn 40 ccm in die Atemflasche gebracht, alle weiteren fünf Minuten je 20 ccm. Die größte Höhe der Ordinate entsprach 399 Voltabfall, im Trinkversuch 743.

Die dritte Kurve ist das Bild eines zweiten Trinkversuches mit 1000 M.E. in 8 ccm Flüssigkeit. Patient trank zu Anfang 10 ccm, dann alle weiteren fünf Minuten je 5 ccm.

Endlich ist Kurve IV die Darstellung eines zweiten Inhalationsversuches, diesmal mit 1000 M.-E. Emanationsaufwand in 80 ccm Flüssigkeit. Bei Beginn wurden 10 ccm Wasser in die Atemflasche mittels Pipette eingeführt, alle weiteren fünf Minuten je 5 ccm. Mit der Messung wurde nach 5 Minuten Inhalation begonnen. Bei den letzten beiden Versuchen wurden durch Inhalation höchstens 153 Voltabfall nach ca. 75 Minuten, durch Trinken 509 Voltabfall nach ca. 40 Minuten erreicht.

Es erreicht also nach einmaligem Trinken einer größeren Emanationsmenge bereits in etwa 5 Minuten der Emanationsgehalt der Ausatmungsluft sein Maximum, fällt dann etwa 20 Minuten lang steil, später langsam ab. Die Abgabe von Emanation hält noch zwei Stunden und länger an. Bei nüchternem Magen wird Emanation wesentlich rascher resorbiert und ausgeschieden. Länger dauert die Ausscheidung naturgemäß, wenn bei nüchternem Magen etwa alle 5 Minuten eine Portion getrunken wird.

Während der Dauer der Inhalation bleibt der Emanationsspiegel im Blute in gleicher Höhe, doch erreicht die Kurve bei der Trinkmethode in dosi refracta einen wesentlich höheren Stand als nach einem viel größeren Gesamtaufwand während des Inhalierens.

Strasburger und Spartz kommen zu dem Schluß, daß nach ihren Experimenten mittels der Trinkmethode eine größere Emanationsmenge ins Blut gebracht werden kann als beim Inhalieren und daß dieser Zustand durch wiederholte Verabreichung von kleineren Dosen beliebig lange aufrecht erhalten werden kann, auch wenn ein Teil dieser Emanation nicht ins arterielle Blut gelangt, sondern vorher ausgeatmet wird.

Für diejenigen Fälle, bei denen die Imprägnation mit Emanation in hohen Dosen erforderlich ist, eignet sich nach Lazarus das Radium-Sauerstoffinhalationssystem, bei dem mit Emanation gesättigter Sauerstoff inhaliert wird. Dieses System gestattet eine Aktivierung des Blutes bis zu 150 M.-E. pro Liter Aderlaßblut, entsprechend ca. 500 M.-E im Gesamtblute und ca. 5000 M.-E. in der gesamten diffusiblen Körpersubstanz (vergl. Seite 151).

Aus den vorstehenden Ausführungen ergibt sich, daß in geeigneten Fällen eine Kombination der Trinkkur mit der Emanationsbehandlung das gegebene therapeutische Verfahren ist, wie das auch von zahlreichen Autoren, wie Plesch, Lazarus, Engelmann, Strasburger, Falta u. a. m. hervorgehoben wird. Welche Stellung man auch bei Betrachtung der Gegensätze, die sich zwischen einzelnen Autoren in bestimmten Fragen, besonders hinsichtlich der Anreicherung des Blutes an Emanation, der Wirksamkeit des Radium D und, wie wir noch sehen werden, des Verhaltens der Emanation zum Harnsäure- bezw. Purinstoffwechsel bedenklich zugespitzt haben, einnehmen mag, soviel darf man mit Sicherheit annehmen, daß die Inhalation und das Trinken von Emanation gewissermaßen eine gegenseitige Ergänzung bilden, indem bei der ersteren Methode die Emanation von den Lungenalveolen und damit direkt vom Blute aus wirkt, bei der letzteren Methode speziell oder wenigstens in höherem Maße auf die Verdauungsfermente, auf die Verdauungsdrüsen sowie auf die dem Darme benachbarten Organe zunächst einwirkt und zunächst das venöse Blut mit Emanation versorgt. Die Kombination bietet zweifellos den Vorteil einer restlosen Durchtränkung des Körpergewebes mit dem heilwirkenden Gas, und selbst wenn sich herausstellen sollte, daß die eine oder die andere Methode allein schon genügt, um den erfolgten Zweck zu erreichen, so bietet doch die kombinierte Anwendung eine angenehme Sicherheit, daß unser therapeutisches Handeln, auch ohne daß wir die Physiologie und Biologie der Materie bis in den letzten Winkel hinein beleuchtet haben, von den Erfolgen begleitet ist, die der Patient von der ärztlichen Kunst verlangt.

Emanationsbäder.

Um eine Erklärung für die Wirksamkeit der radioaktiven Bäder zu geben, erschien es notwendig, die Frage zu prüfen, auf welchem Wege die im Bade enthaltene Emanation in den Organismus eindringt. Der Möglichkeiten gibt es mehrere. Einmal könnte Emanation durch die Haut aufgenommen werden. Wir wissen, daß auch die Kohlensäure und der Sauerstoff die Haut von innen nach außen wie umgekehrt passieren können, eine Tatsache, die durch den Begriff „Hautatmung" gekennzeichnet ist. Die Permeabilität der Haut ist ferner bekannt für Schwefelwasserstoff, Cyanwasserstoff usw. Da auch die Emanation ein vollkommenes Gas ist, wäre a priori die Möglichkeit nicht von der Hand zu weisen, daß auch sie durch die Haut hindurchdringen könne.

Ein zweiter Weg für die Einführung der Emanation besteht darin, daß die Emanation aus dem Badewasser in Freiheit gesetzt wird und durch die Einatmung analog wie im Emanatorium in die Lungen und damit ins Blut übergeht.

Die Wirksamkeit des Emanationsbades könnte endlich in der Strahlenwirkung eine Erklärung finden, die sowohl von der im Bade gelösten Emanation wie auch von dem radioaktiven Niederschlag auf der Körperoberfläche ausgehen könnte.

Alle drei Möglichkeiten sind eingehend untersucht worden. Die ersten Autoren, die sich mit dieser Frage beschäftigten, besonders Löwenthal, vertraten die Ansicht, daß das Emanationsbad qua Radioaktivität nur durch Inhalation wirke. Auf Grund dieser Anschauung gab Löwenthal eine Reihe von balneotechnischen Vorschriften, die wir bereits besprochen haben (S. 157).

Allerdings wurde von Lazarus, Kemen und Meser-nitzky festgestellt, daß aus dem Badewasser nur ein kleiner Teil der Emanation in die Luft dringt. Auch Winternitz hat diese Frage untersucht und gefunden, daß bei halbstündiger Badedauer und ruhigem Verhalten des Patienten in einem Bade von 35 Grad Celsius der Emanationsverlust des Wassers nur 5—10 bis höchstens 20 Prozent beträgt, daß Zusatz von Sole auf die Austreibung der Emanation an die Luft keinen Einfluß hat, daß

dagegen im Kohlensäure- und Sauerstoffbad ein außerordentlich starker Uebergang von Emanation an die Luft stattfindet. Kemen und Mesernitzky fanden in einem Solbad von 200 Litern Inhalt vor dem Bade 116 M.-E. pro Liter und eine Stunde später 108 M.-E. pro Liter, also einen so geringfügigen Unterschied, daß die in die Luft übergegangene Emanation in der Tat eine nennenswerte Einwirkung nicht zur Folge haben kann; dem entspricht der weitere Befund, daß die Luft über dem Bade in Atemhöhe des Patienten nur ca. 0,1 M.-E. pro Liter enthielt.

Sonach ergibt sich, daß, wenn die im Bade enthaltene Emanation zur Inhalation benutzt werden soll, das von Löwenthal vorgeschriebene ruhige Verhalten des Patienten gerade zweckwidrig wäre, sondern daß sich der Patient, wie Plesch, allerdings aus anderen Motiven heraus, empfiehlt, viel und lebhaft bewegen muß, um durch eine Art Schüttelmethode die Emanation aus dem Badewasser auszutreiben. Aber auch dann wäre eine besondere Einrichtung des Badezimmers nötig, damit die in Freiheit gesetzte Emanation nicht auf irgend einem Wege zu Verlust geht.

Von Löwenthal wurde die Möglichkeit der perkutanen Aufnahme der Emanation abgelehnt, ebenso von His, der die These aufstellte, daß die Emanation im Bade nur insoweit wirksam sein könne, als aus dem Wasser an die Luft entweiche und eingeatmet werde. Diese Ansicht hat sich nunmehr als irrig herausgestellt. Die radioaktiven Bäder sind nicht nur „eine modifizierte Inhalationsweise (Löwenthal)", sondern die Emanation vermag von innen nach außen und auch umgekehrt die Haut zu durchdringen.

Diese Entscheidung wurde exaktissime durch die Untersuchungen von Engelmann an der Strasburgerschen Klinik gegeben. Er betonte zunächst, daß der Emanationsgehalt des ausgeschiedenen Harnes nur etwa den 4000. Teil der zugeführten Emanation ausmache und daß zufolgedessen die Prüfung des Urins auf Emanation das am wenigsten geeignete Verfahren sei, um über die Anwesenheit von Emanation im Körper Auskunft zu erhalten. Auch macht er geltend, daß der von Löwenthal angewandte Emanationsgehalt z. T. nicht groß

genug und die Dauer der Bäder zu kurz gewesen wäre, um eine definitive Entscheidung über die Aufnahmefähigkeit durch die Haut hindurch zu fällen.

Engelmann verabreichte nun Emanationsbäder von 12 000 bis 15 000 M.-E., wobei die Einatmungsluft durch einen langen, weiten Schlauch aus dem Freien direkt in die Atmungswege des Patienten zugeführt wurde. Es war somit eine Aufnahme der im Badewasser bezw. in der Luft des Baderaumes enthaltenen Emanation auf dem Atmungswege völlig ausgeschlossen. Es zeigte sich nun, daß 10 Minuten nach Verlassen des einstündigen Bades in der Ausatmungsluft Emanation vorhanden war, diese konnte nach einem zwingenden Schluß nur durch die Haut aufgenommen worden sein.

Auch Kemen hat sich mit dieser Frage beschäftigt; gemeinsam mit Neumann stellte er fest, daß die nach einem einstündigen Bade bei ruhigem Verhalten des Patienten aus dem Wasser in die Luft übergegangene Menge Emanation nur etwa 10 bis 15 Prozent der im Wasser gelösten Menge betrage, also ein Quantum, das für therapeutische Zwecke völlig unzureichend sei. Dagegen konnte Kemen die Aufnahme der Emanation ins Blut bis zu einer Höhe von 4—9 M.-E. nach einem hochaktiven Bad von 100 M.-E. pro Liter und von viertel- bis zweistündiger Dauer nachweisen.

Ebenso äußert sich über die Durchgängigkeit der Haut der Emanation Lazarus im positiven Sinne, er betrachtet die Haut nach beiden Richtungen hin für diffusibel. Allerdings hält er das Quantum der perkutan in den Körper übergehenden Emanation für nicht groß genug, um eine Erklärung für die beobachtete therapeutische Wirkung zu geben.

Diesen Autoren gegenüber bezweifeln Nagelschmidt und Kohlrausch die Möglichkeit der perkutanen Aufnahme von Emanation, betrachten vielmehr die Lunge, den Magen und den Darm als die einzigen Aufnahmeorgane der Emanation; diese wird eine Zeit lang im Körper zurückgehalten, durchdringt hierbei alle Gewebe und wird dann in die Expirationsluft und in den Fäzes ausgeschieden.

Ueberzeugend ist indes der Nachweis von Emanation im

Schweiße kurze Zeit nach ihrer Aufnahme in die Lungen oder in den Darm, der von Lazarus geführt wurde.

Nach diesen Ergebnissen kann man weder von der Inhalation noch von der perkutanen Diffusion der Emanation eine wesentliche therapeutische Einwirkung der radioaktiven Bäder erwarten. Es wäre noch zu untersuchen, ob die zweifellos feststehende günstige Beeinflussung eine Folge des radioaktiven Niederschlages, also der direkten Strahlenwirkung sein kann. Wir wissen, daß die Emanation Alpha-Strahlen abgibt und einen Niederschlag auf dem Hautmantel liefert, der aus Radium A, B, C und D besteht und demnach Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlen aussendet. Daß überhaupt ein solcher Niederschlag auf der Haut sich bildet, darüber kann ein Zweifel nicht bestehen. Zudem haben Kemen und Neumann noch eine Stunde nach dem emanationshaltigen Bade die induzierte Aktivität nachgewiesen und den Niederschlag durch Abwaschen der Haut mit einem Schwamm gewonnen. Auch Strasburger äußert den Gedanken, daß es sehr wohl möglich sei, daß dieser Niederschlag wegen der von ihm ausgehenden Strahlung die Hauptsache sei.

Nun kann allerdings zwar eine im Verhältnis zur Inhalation und zur perkutanen Aufnahme der Emanation im Bade größere Wirkung von der Strahlung des radioaktiven Niederschlages angenommen werden; ob aber diese Wirkung im absoluten Sinne die Gesamtwirkungen des radioaktiven Bades erklärt, erscheint zum mindesten zweifelhaft. Dieser Zweifel ist begründet durch die relativ geringen Dosen an Mache-Einheiten, die bisher bei künstlichen radioaktiven Bädern in der Regel zur Anwendung gelangen (mehrere 1000 bis 12—15 000 M.-E.). Aber selbst wenn man mit den sehr viel höheren Dosen (bis zu 150 000 M.-E. in Joachimsthal) rechnet, so ist zu berücksichtigen, daß die Strahlen, besonders die Alpha-Strahlen eine sehr geringe Durchdringungskraft haben und daß die in Wirklichkeit die Haut treffende Strahlenmenge sicherlich nur ein minimaler Bruchteil der dem Gesamtgehalt des Bades an Emanation entsprechenden Strahlenenergie ist.

Trotz dieser Zweifel, die schließlich dazu führen, den emanationshaltigen Bädern keine andere Wirkung zuzusprechen als gewöhnlichen warmen Wasserbädern oder Mineralbädern, muß

offen bekannt werden, daß wir noch nicht am Ende der Wissenschaft stehen und daß — ganz abgesehen von ev. noch unbekannten Faktoren — die bekannten vielleicht doch Einflüsse geltend machen, die den emanationshaltigen Bädern gewisse Vorzüge vor den inaktiven einräumen. Diese Einflüsse können sich auch trotz der geringen Menge der in Betracht kommenden Radioelemente möglicherweise geltend machen.

Es läßt uns also hier die Theorie vorläufig noch im Stich, und wir müssen uns an die praktische Erfahrung halten, die uns lehrt, daß emanationshaltige Bäder in geeigneten Fällen der hier zur Besprechung stehenden Krankheitskategorien ausgezeichnete Wirkungen entfalten.

Radioaktiver Niederschlag.

Man hat versucht, die Menge des erzeugten radioaktiven Niederschlages durch Aufladung eines elektronegativen Potentials auf die Haut zu erhöhen. So wurde in Kreuznach von Aschoff und Hasse das radioelektrische Luftbad eingerichtet, in welchem die Patienten, die nackt auf Isolierstühlen sitzen, elektronegativ geladen wurden. Die umgebende Luft hatte einen durchschnittlichen Emanationsgehalt von 5 M.-E. pro Liter. Nach zweistündigem Aufenthalt konnten die genannten Autoren die vierfache Stärke des Niederschlages nachweisen, als er ohne elektrische Aufladung entstanden war. Auch im Wasserbade tritt durch elektronegative Aufladung eine Verstärkung des radioaktiven Niederschlages ein, wenn auch nicht in dem hohen Maße wie im radioelektrischen Luftbad.

Ein ähnlicher Effekt, nämlich eine Vermehrung des radioaktiven Niederschlages wird von Lazarus angestrebt, indem er die Wände des die Emanation entwickelnden Apparates positiv elektrisch lädt und so die positiven Zerfallsprodukte abstößt, so daß sie mit der Emanation in die Luft und auf den Körper der Patienten gelangen.

Den Radioaktivitätsgehalt der Luft benutzt Grabley zur Erzeugung eines Niederschlages auf der Haut mittels elektronegativer Aufladung. Von Müller u. a. ist beobachtet worden, daß der Austritt der Emanation aus den Erdspalten sowie aus den Quellen in einer gewissen Abhängigkeit vom Luftdruck steht,

was ja nicht überraschend ist, da die Emanation als Gas auch sonst den physikalischen Gesetzen gehorcht; ebenso werden andere, nämlich meteorologische und tellurische Beziehungen und Verhältnisse von Einfluß auf den Emanationsgehalt der Luft sein. Grabley untersuchte nun die Radioaktivität der Luft und verzeichnete gleichzeitig das Befinden von Gichtikern, Rheumatikern und Nervösen, um evtl. einen Zusammenhang zwischen dem Befinden der Patienten und dem Emanationsgehalt der Luft aufzufinden, die vielleicht auch eine Erklärung für die allgemein bekannten klimatischen Einflüsse auf Gesunde und noch mehr auf Kranke bieten könnte. Der Gehalt der Atmosphäre an Emanation wechselt je nach der Witterung, je nach der Jahreszeit und je nach den Mondphasen. Er steigt an bis zur Zeit des Vollmondes und fällt von da bis zur Zeit des Neumondes. Grabley beobachtete, daß an den Tagen des hohen Emanationsgehaltes sich anscheinend besonders lebhafte Beschwerden der Patienten einstellten; an diesen Tagen wäre dann auch die induzierte Radioaktivität in Form des Niederschlages am stärksten. Nach Grableys Ansicht ist übrigens der Emanationsgehalt der Luft unabhängig vom Barometerstand, obwohl einige Beobachter anderer Ansicht sind. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß die periodisch auftretenden Verschlimmerungen im Zustande der Gichtiker, Rheumatiker und der Nervösen mit dem Emanationsgehalt der Luft im Zusammenhange stehen, wie ja bekanntlich derartige Patienten einen Witterungswechsel vielfach mit Sicherheit voraussagen können, während der Gesunde viel unempfindlicher ist (vergl. Seite 254).

Grabley lud Patienten mit der Influenzmaschine bis zu 5000 Volt negativ elektrisch, um den radioaktiven Niederschlag zu erhöhen. Sensible Personen bekamen Unruhe, Herzklopfen, vasomotorische Störungen, unruhigen Schlaf.

Zu diesem Kapitel gehören auch die Versuche von Steffens, die Wirkung der radioaktiven Bäder durch hochgespannte Ausstrahlungen negativer Elektrizität zu ersetzen. Er ist der Ansicht, daß die Beta-Strahlen als das eigentlich wirksame Prinzip der radioaktiven Bäder zu betrachten sind. Diese Methode, die sogen. Anionenbehandlung befindet sich noch im ersten Stadium der Diskussion.

Iontophorese.

Die Einführung von Radiumionen auf elektrolytischem Wege versuchte Haret nach den Berichten von Beclère. Er legt auf die kranke Stelle die positive Elektrode, bestehend aus einer mit Radiumbromidlösung durchtränkten Kompresse, und läßt einen Strom von 10 Milliampère 13 Minuten lang einwirken; wöchentlich werden drei Sitzungen veranstaltet. Nach seinen experimentellen Untersuchungen dringt das Radiumion durch die unversehrte Haut in den Körper ein bis zu einer Tiefe von 9 cm und verweilt hier ohne irgend welche Schädigung etwa 14 Tage lang. Mit dieser Methode erzielte er — außer bei andern Fällen von Neubildungen — einen Erfolg bei einem Falle von Sarkom des Schulterblattes.

Mittels der Kataphorese erzielten Kohlrausch und Mayer, Zimmern und Fabre sowie Schnée günstige Resultate, insbesondere bezüglich des analgetischen Effektes bei Arthritis. Badedauer etwa 20 Minuten, Stromintensität 4000 bis 5000 Milliampère bei einer Spannung von 60 bis 65 Volt. Schnée nimmt die Kataphorese der Emanation im elektrischen Vierzellenbad vor, besonders bei chronischer Arthritis, Ischias und Tabes. Nach seiner Ansicht empfiehlt sich diese Kombination der Emanationstherapie mit der Elektrotherapie namentlich in denjenigen Fällen, wo jede der beiden Methoden für sich allein schon günstige, aber noch nicht ausreichende Resultate ergeben.

Daß die Emanation auf diesem Wege tatsächlich durch die Haut eindringt, wird dadurch bewiesen, daß Kohlrausch und Mayer wie auch Schnée sowohl in der Ausatmungsluft wie im Urin die Emanation nachweisen konnten. Der Nachweis gelang dagegen nicht im einfachen radioaktiven Bade.

Radioaktive Kompressen.

Eine weitere aussichtsreiche Applikationsart ist die Anwendung der radioaktiven Kompressen. Bei seinen Versuchen über die Permeabilität der Haut für die Emanation fand Strasburger, daß bei chronischen Gelenkleiden besonders günstige Erfolge durch die Applikation von Emanations-

wasserumschlägen erzielt wurden, besonders bei Anwendung hoher Dosen, ja Strasburger hält bei rein örtlichen Erkrankungen die Form der Umschläge für die rationellste Methode und zieht hochaktive Bäder nur bei Beteiligung mehrerer Gelenke vor. Er geht so weit, daß er die These aufstellt: Wenn die äußere Applikation erfolglos ist, dann nützen auch die Trinkkuren nichts.

Auch Lazarus spricht sich günstig über den Wert der radioaktiven Kompressen aus; sie bieten die Möglichkeit einer fortgesetzten Einwirkung durch Wochen hindurch am Tage oder über Nacht mehrere Stunden lang (6—12). Um den ganzen Körper oder größere Teile der Wirkung der Radioaktivität auszusetzen, hat er radiumhaltige Decken mit 5 mg Radiumsulfat gleich ca. 50 000 bis 60 000 M.-E. pro qcm angegeben. Sonst sind auch Radiol-, Radiofirm-, Radiothorium-, Mesothorium- und Aktiniumkompressen im Gebrauch. In der „Umflutung des Hautmantels mit Alphapartikelchen, der Durchflutung der Cutis mit Betastrahlen, dem Durchsetzen des Körpers mit Gammastrahlen, der reflektorischen Hervorrufung der Sekundärstrahlen im Gewebe und die durch die langdauernde Exposition veranlaßte Induzierung des Hautmantels mit den Zerfallsprodukten" erblickt Lazarus die Hauptvorzüge der Kompressen.

Die Hauptwirkung der Kompressen besteht in der Schmerzstillung; sie werden direkt auf die schmerzhaften Stellen aufgelegt und durch Verband oder Pflaster befestigt.

Injektion von Radiumsalzen.

Bei der Erklärung der Wirkungsweise der Trinkkur geht man von der Vorstellung aus, daß durch Trinken von Radiumemanation im Magendarmkanal eine Quelle erzeugt wird, aus der auf längere Zeit der Körper mit Emanation gesättigt werden kann, besonders dann, wenn dieses Depot von Zeit zu Zeit erneuert wird. Es wird so eine gewisse Dauerwirkung erzielt, die schon deshalb erstrebenswert sein muß, weil die Emanation als ein echtes Gas relativ rasch aus dem Körper ausgeschieden wird. Man hat nun auch auf andere Weise, nämlich durch Injektion unlöslicher Radiumsalze versucht, im Körper Depots zu

erzeugen, die längere Zeit hindurch Emanation entwickeln und demnach eine Dauerwirkung entfalten könnten. In der 1. Medizinischen Klinik in Berlin wurde bei gewissen Fällen von Rheumatismus die Injektion von Radiumsalzen in unmittelbarer Nähe der erkrankten Gelenke vorgenommen und günstige Erfolge erzielt; auch konnte die Emanation in der Ausatmungsluft nachgewiesen werden. Selbstverständlich müssen die injizierten Lösungen oder Suspensionen sterilisiert sein. Die Dosis beträgt gewöhnlich $^1/_{100}$ bis $^5/_{100}$ mg pro Injektion in einem Vehikel von 2 ccm. Es muß hervorgehoben werden, daß die Injektion von Radiumsalzemulsionen in manchen Fällen starke Schmerzen verursacht, während die Injektion löslicher Radiumsalze diesen Nachteil nicht hat, andererseits wird durch die Einführung unlöslicher Radiumsalze eine Retention an der Injektionsstelle erreicht, während lösliche Radiumsalze durch Blut und Lymphstrom alsbald fortgeschwemmt werden (Wichmann).

Ramsauer und Caan stellten experimentell fest, daß injiziertes Radium bereits durch den Urin allein — ohne Berücksichtigung der übrigen Wege der Ausscheidung — in absehbarer Zeit wieder aus dem Körper entfernt werden kann. Bei der Untersuchung des Verhaltens der einzelnen Organe gegenüber subkatanen oder intravenös eingespritzen Radiumpräparaten stellten sie fest, daß bei Einverleibung sehr starker Präparate mit einer nennenswerten, eventuell gefährlichen Anhäufung von Radium in irgend einem Organ bei beliebig langer Dauer nicht gerechnet zu werden braucht, gleichgiltig, ob lösliche oder unlösliche Präparate verwendet werden.

Daß die Injektion unlöslicher Radiumsalze zu einer monatelang dauernden Aktivität des Blutes und der Organe führt, konnten Dominici, Petit und Jaboin nachweisen; letztere Autoren fanden beim Pferd nach Injektion von 1 mg schwefelsaurem Radium in 250 ccm phys. Kochsalzlösung noch ein halbes Jahr später im Harn Emanation.

Zur Injektion kommen fertige Packungen in den Handel, z. B. die Kreuznacher Radioltuben, von denen jede 1 ccm einer Suspension von 10 Teilen Radiol, 1 Teil Gelatine, 0,8 Kochsalz auf 100 ccm Wasser enthält, ferner die Radiogenoltuben, eine zweiprozentige Aufschwemmung von Radiumbaryumkarbonat in

Paraffinum liquidum mit Bismuthum subnitricum; je 2 ccm haben eine Aktivität von 100 000 M. E.

Es ist nicht überraschend, daß die Injektion löslicher oder unlöslicher Radiumsalze eine viel intensivere Wirkung entfaltet als die Radiumemanation, wie sie nach den beschriebenen Methoden appliziert wird. Auch die Injektion von Radiumemanationslösung ist nach Braunstein, der sie in Tumoren injizierte, erheblich wirksamer, wenn sie natürlich auch vom Injektionsorte aus in gleicher Weise wie die unlöslichen Radiumsalze weggeschwemmt und nach kurzer Zeit ausgeschieden wird. Die Versuche von Aschkinass und Caspari wie von Schütze, der eine Erhöhung der Agglutinationskraft gegen Typhus und Cholera bei Kaninchen durch Inhalation nicht, wohl aber durch Injektion feststellen konnte, weisen auf eine viel energischere Wirkung hin, ebenso die Experimente von Brill und Zehner, die eine außerordentliche intensive Wirkung auf die zelligen Bestandteile des Blutes im Sinne einer Erhöhung der Erythrozytenzahl und der Leukozytenzahl bei mäßigen Dosen, einer Zerstörung der letzteren bei größeren Dosen beobachteten.

Engelmann empfiehlt intraarterielle Injektionen von Radiumsalz- oder Radium-Emanations-Lösungen in denjenigen Fällen, bei denen man auf bestimmte Körpergebiete intensiv einwirken will, etwa bei gynäkologischen Erkrankungen. Auch nach seinen Beobachtungen bleiben intraarterielle injizierte Radiumsalzlösungen in erheblicher Menge in dem Versorgungsgebiet der gewählten Arterie zurück, während der Rest sich im Körper verteilt.

Radiothorium und Thorium X.

Von den Elementen der Thoriumreihe kommen als therapeutische Agentien besonders das Mesothorium und das Thorium X in Anwendung, ersteres im wesentlichen als Ersatz für Radium in der externen Behandlung (siehe Kapitel XI), letzteres vorwiegend in der internen Medizin. Obwohl diese Elemente noch sehr jugendlichen Alters bezüglich ihrer wissenschaftlichen Existenz sind, liegen doch bereits zahlreiche Untersuchungen vor, die nicht nur das allgemeine Interesse, das diese Materie

für sich beansprucht, bekunden, sondern auch Zeugnis ablegen von den günstigen Aussichten, die dieser neue therapeutische Zweig bietet.

Die Dosierung und die Applikationsmethoden der zur Thoriumfamilie gehörigen therapeutisch wirksamen Radioelemente sind nach denselben Gesichtspunkten zu betrachten wie die des Radiums und seiner Emanation. Freilich machen sich wesentlich geltend die Unterschiede der anwendbaren Thoriumelemente von dem Radium und ihrer Emanation hinsichtlich des chemischen und physikalischen Verhaltens. In dieser Beziehung ist das wichtigste Merkmal die Dauer der Halbwertszeit. Während Radium eine Zerfallsperiode von etwa 2000 Jahren hat und die Radiumemanation eine solche von 3,85 Tagen, zerfällt das Mesothorium I in 5,5 Jahren, das Mesothorium II in 6,2 Stunden und das Radiothorium in 2 Jahren, das Thorium X in 3,7 Tagen und die Thoriumemanation in 53 Sekunden.

Will man also die Thoriumemanation zur Anwendung bringen, so muß man auf die Kurzlebigkeit Rücksicht nehmen und kann demgemäß die Inhalation nicht in größeren Räumen vor sich gehen lassen, sondern muß dafür sorgen, daß sie möglichst unmittelbar nach ihrer Entstehung eingeatmet werden kann.

Zur Abgabe der Thoriumemanation benutzt man am besten das Radiothorium, da dieses Element entsprechend seiner Lebensdauer zwei Jahre hindurch Emanation entwickelt. Würde man Thorium X als Muttersubstanz der Emanation für die Inhalation therapeutisch verwenden, so hätte man wegen der Zerfallsperiode von 3,7 Tagen nur kurze Zeit hierzu Gelegenheit, und es würde auf diese Weise die Thoriumtherapie außerordentlich kostspielig werden.

Man inhaliert Thoriumemanation z. B. aus einem von der Auergesellschaft konstruierten Apparat, bei dem das Radiothorium in ein Blechkästchen eingeschlossen ist, das an der einen Seite eine Reihe von kleinen Oeffnungen und an der gegenüberliegenden Seite eine größere Oeffnung mit einem dicken kurzen Schlauch besitzt, durch den die Emanation eingeatmet wird. Diese Apparate ergeben bis zu 10 000 M.-E. und mehr pro Sekunde.

Sofort nach ihrer Aufnahme in die Lungen bezw. in das

Blut geht die Thoriumemanation in ihre Zerfallsprodukte über und entzieht sich so dem Nachweis.

Rationeller dürfte es sein, die Thoriumemanation durch Trinken einzuverleiben und zwar durch Verabreichung von Thorium X in Lösung. Solange das Thorium X existiert, solange ist es imstande, Emanation zu entwickeln, und man müßte nur die Möglichkeit schaffen, das Thorium X bis zu seinem völligen Zerfall im Organismus aufzuspeichern, so hätte man eine ständige Quelle für die Thoriumemanation, die wesentlich billiger ist, als wenn man Radiumsalzlösungen verabreicht, um Radiumemanation einzuverleiben.

Uebrigens ist die Thoriumemanation, die auch zuerst entdeckt wurde, bereits vor der Radiumemanation therapeutisch angewendet worden von Tracy, Gordon, Sharps, Reinwaldt u. a., die aber keine Erfolge erzielten und deshalb die Versuche 1904 aufgaben.

Bezüglich der Dosierung des Thorium X hat man auch zunächst vorsichtige Versuche gemacht, ist aber bald zu höheren Dosen übergegangen, was ja durch die größere Wohlfeilheit des Präparates leichter möglich war als beim Radium. Man verabreicht zu Anfang innerlich etwa 1000 M. E. täglich in mehreren Dosen und steigert das Tagesquantum auf 3000 bis 5000 evtl. noch mehr M. E., die man ebenfalls bei vollem Magen verabreicht. Diese Dosierung bezieht sich speziell auf die rheumatischen und gichtischen Erkrankungen. Andere Autoren, z. B. von Noorden geben schon zu Anfang wesentlich höhere Dosen.

Das Thorium X ist im Wasser löslich und wird infolgedessen, nachdem es in den Magen-Darmkanal gelangt ist, ins Blut resorbiert, gelangt in den Kreislauf und wird sowohl durch den Harn wie durch den Stuhl eliminiert. Nach der Dauer des Aufenthaltes des Thorium X im Körper richtet sich auch die Menge der zur Wirkung gelangenden Emanation; diese steigt nach Darreichung des Thorium X zunächst an, fällt aber proportional der Ausscheidung nach und nach wieder ab, bis das Thorium X den Körper verlassen hat und auch die relativ kurzlebigen Zerfallsprodukte der Thoriumemanation ihre Wirkung verloren haben. Es ist Bickel gelungen, durch Verabreichung von Thorium X den Ge-

halt des arteriellen Blutes an Thoriumemanation auf ein sehr hohes Niveau zu bringen.

Man darf von vornherein annehmen, daß die kurzlebigen Radiumelemente eine größere Energie entfalten als die langlebigen, daß also möglicherweise der aktive Niederschlag der Thoriumemanation biologisch intensiver wirkt als die Zerfallsprodukte der Radiumemanation. Wenn man nun weiter auf dem Standpunkt steht, daß die Wirkung der radioaktiven Bäder in erster Linie auf dem aktiven Niederschlag beruht, so könnte man zu der Ansicht gelangen, daß Thorium X-Bäder und ebenso Thorium X-Kompressen und -Packungen eine intensivere Wirkung entfalten als die gleichen Radiumapplikationen.

Auch die Balneotechnik der Thorium X-Bäder bietet mancherlei Vorteile gegenüber den Radiumemanationsbädern; zunächst ist das Thorium X in vier- bis fünffacher Menge wie die Radiumemanation in Wasser löslich, ferner verflüchtigt sich die Thoriumemanation nur in ganz geringem Grade und das Thorium X überhaupt nicht, so daß die Quelle des wirksamen Prinzips tagelang im Bade erhalten bleibt. Weder durch Bewegungen des Patienten, noch durch Sauerstoff oder Kohlensäure kann der Nutzeffekt der Thorium X-Bäder beeinträchtigt werden.

Daß Thorium X wesentlich billiger ist als Radium, wurde schon erwähnt. Allerdings zerfallen die Thorium X-Präparate bereits nach 3,7 Tagen um die Hälfte, so daß sie immer von neuem bezogen werden müssen, während Radiumpräparate als dauernd haltbar angesehen werden können.

Lazarus hat Radiothoriumkompressen angegeben, die aus radiothorhaltigen Thoriumhydroxyd hergestellt werden und pro qcm 120 bis 150 M. E. entwickeln. Nach Lazarus entspricht eine Kompresse in der Größe von 10 qcm und von 250 000 M.-E. Daueraktivität der 100 fachen Aktivität der meisten in den Handel gebrachten Radiumkompressen und ist äquivalent einer Gamma-Aktivität von einem hundertstel Milligramm Radiumbromid.

Die Kompressen werden trocken aufgelegt und etwa 12 Stunden liegen gelassen. Lazarus hat bei schmerzhaften Affektionen, Gelenkschwellungen und Exsudatresten Erfolge ge-

sehen und verwendet sie sogar neuerdings zur Drüsenbestrahlung und bei Allgemeinerkrankungen, auch bei der perniziösen Anämie, wobei er die Kompresse durch Umbinden und tagelanges Tragen auf das Knochenmark einwirken läßt.

Natürlich ist auch für die Thoriumbehandlung eine Kombination der Applikationsweisen angängig und in geeigneten Fällen vorzunehmen.

Auch die Thorium X-Kataphorese ist von Lazarus untersucht worden und zwar in Form der elektrischen Bäder oder mittels einer Elektrode, bestehend aus einem Hartgummibecher von ca. 2 cm Tiefe und 3 cm Durchmesser mit Platinspirale oder mittels der Elektrode nach Musehold. Die verwandte Dosis betrug 30 000 bis 200 000 M.-E. in 5 ccm, die Stromstärke 5—10 Milliampère, die Stromdauer eine Stunde. Nach den Untersuchungen von Keetmann dringt von der Kathode aus etwa 70 bis 80 Prozent der Thorium X-Lösung in den Organismus.

Zur Injektion werden hauptsächlich konzentrierte Thorium X-Lösungen verwendet, und zwar werden diese sowohl subkutan, wie intravenös, wie intratumoral appliziert, je nach der zur Behandlung stehenden Erkrankungsform. Bedingt der Krankheitsfall die Bildung eines Depots, so empfiehlt sich die Injektion unlöslicher Präparate, z. B. Radiothor, das allerdings sehr kostspielig ist. Andernfalls wählt man das lösliche Thorium X in den geeigneten Konzentrationen.

Bei dieser Methode der Applikation ist große Vorsicht zu beachten, weil sowohl eine lokale wie allgemeine Einwirkung zu erwarten ist. Es zeigt sich hier wiederum die größere Energieentfaltung der rascher zerfallenden Thoriumpräparate, gegenüber der relativ langlebigen Radiumemanation. Lokal wirken die Strahlen der injizierten Thoriumpräparate ein, während die entwickelte Thoriumemanation nach den eingehenden experimentellen Untersuchungen von Bickel und seinen Mitarbeitern sich bis zur Ausscheidung des Thorium X durch Nieren, Darm und Haut im ganzen Organismus verbreitet und zu kumulativen Erscheinungen Veranlassung geben kann. Besonders intensiv sind die Wirkungen nach der intravenösen Injektion.

Kenji-Kojo stellte im Bickelschen Institute folgendes fest:

1. Nach dem Genuß von Thorium X-Lösung kann man in Ausatmungsluft und Harn reichlich Emanation nachweisen.
2. Die Zeitdauer der Emanationsausscheidung in Atemluft und Harn ist je nach der Menge der aufgenommenen Thorium X-Lösung immer verschieden; bei 1 ccm derselben, gleich 1900 M.-E., beträgt sie mindestens 5—6 Stunden, und trinkt man mehr, so dauert die Ausscheidung länger.
3. Nach einstündigem Inhalieren kann man weder in Atemluft noch im Harn eine Spur von Emanation nachweisen.

Nach Plesch und Karczag werden etwa 8 Prozent des Thorium X bei intravenöser Einverleibung im Körper deponiert, und wenn sich nun an die eine Injektion nach kurzer Zeit eine zweite und eventuell eine dritte anreiht, so gelangt ein derart großes Thorium X-Depot in den Organismus, daß die Einwirkung sich bis zu Intoxikationserscheinungen steigern kann.

Deshalb hebt Bickel mit Recht besonders hervor, daß es nicht nur darauf ankommt, die einmalige Dosis richtig zu bestimmen, sondern vor allem darauf, die Injektionen in angemessenen Intervallen auszuführen.

An der Hisschen Klinik ist eine 58jährige, an chronischem Gelenkrheumatismus erkrankte, organgesunde Frau, nachdem sie innerhalb von 16 Tagen vier intravenöse Injektionen, nämlich Thorium X im Betrage von 900 000 M.-E. und 550 000 M.-E., Thorium A 10 000 M.E. und wieder Thorium X 3 000 000 M.-E. erhalten hatte, einige Tage nach der letzten Dosis unter Fieber, Hämatemesis, blutigen Durchfällen und Leukozytenschwund gestorben.

Bei Verabreichung von 300 000 bis 500 000 M.-E. Thorium X sah v. Noorden leichte Magendarm-Störungen, Appetitlosigkeit, leichte Uebelkeit. Trinkkuren mit kleineren Dosen etwa 50 000 M.-E. bis 100 000 M.-E. wurden gut vertragen.

Plesch hat gefunden, daß eine weiße Maus 2 Millionen, ein Frosch 1 Million, ein Meerschweinchen 5 Millionen und ein Kaninchen bei intravenöser Injektion 10 Millionen M.-E. Thorium X vertrug. Falta gab bei Leukämie Dosen bis zu 1 Million M.-E. in Abständen von 2—3 Tagen.

Löhe ist auf Grund von Tierexperimenten der Ansicht, daß 1 000 000 M.-E. für den Menschen unschädlich ist, es muß

aber zwischen den einzelnen Injektionen immer eine Woche dazwischen liegen.

v. Noorden und Falta glauben unangenehmen Ueberraschungen lokaler oder allgemeiner Art durch Verteilung der Injektionsdosis auf verschiedene Stellen entgehen zu können; als höchste Einzeldosis bei der Injektion verwandten sie 800 000 M.-E. Nekrosen haben sie durch diese sozusagen fraktionierte Injektion nicht beobachtet, zuweilen Hautentzündungen und Pigmentansammlungen. Von verschiedenen Autoren wird die Nekrotisierung der Haut bezw. (bei intravenöser Injektion) des perivasculären Gewebes berichtet.

Gudzent ist der Ansicht, daß therapeutische Wirkungen nur durch große Dosen zu erreichen sind, daß aber bei diesen die Schädigung zu sehr im Vordergrunde stehen kann, daß jedenfalls in der Verwendung des Thorium X noch große Vorsicht geboten erscheint.

Zu den Schädigungen, die eventuell durch zu große oder zu rasch aufeinanderfolgende Dosen herbeigeführt werden können, gehören auch die Erscheinungen in den das Thorium X ausscheidenden Organen, dem Darm und den Nieren. Es kommt alsdann zu unstillbaren Diarrhöen und blutigen Durchfällen (hämorrhagische Diathese), ferner zu Nierenreizungen, die ebenfalls mit blutigen Absonderungen einhergehen.

Auf die Bedeutung der Organotropie des Thoriums zu den hämatopoetischen Organen und ihre Anwendung in der Therapie kommen wir noch zurück.

Aktinium X.

Die dritte Familie der Radioelemente, die Aktiniumgruppe ist noch relativ wenig zu therapeutischen Zwecken benutzt worden; nur Czerny und Caan versuchten Aktinium X bei malignen Geschwülsten, worauf wir an gegebener Stelle zu sprechen kommen werden. Für die interne Therapie befindet sich das Aktinium noch im Stadium der Versuche und zwar verwandte Lazarus, der sich mit diesem Problem beschäftigt hat, ein von Giesel hergestelltes Aktinium X, ein in Wasser

schwer lösliches gelblich-braunes Pulver. Zur intravenösen Injektion muß die Lösung filtriert werden, wobei ein Drittel der Aktivität im Rückstande bleibt. Lazarus injizierte subkutan 30 000 M.-E. in 10 ccm physiologischer Kochsalzlösung oder gab innerlich dreimal täglich 5 000 bis 30 000 M.-E. An Mäusen konnte er nach intravenöser Injektion Organotropie des Aktinium X zum Knochenmark und der Leber nachweisen.

Für die therapeutische Anwendung sind wiederum die physikalischen Daten der Halbwertszeit von besonderer Wichtigkeit; sie zeigen uns, daß die Halbwertszeit des Aktinium X etwa 10 Tage beträgt, während die Emanation bereits in 3,9 Sekunden zerfällt und auch der radioaktive Niederschlag außerordentlich kurzlebig ist.

Wenn auch von vornherein angenommen werden darf, daß das Aktinium ähnliche Wirkungen entfaltet wie die übrigen Strahlen des Thoriums, so bleiben doch exakte Feststellungen in dieser Hinsicht noch einer Zeit vorbehalten, in der es möglich sein wird, das Aktinium in einer größeren Menge und mit geringeren Schwierigkeiten zu gewinnen, als es heutigen Tags der Fall ist.

B. Physiopathologische Wirkungen.

In dem vorstehenden Abschnitt über Dosierung und Applikation haben wir bereits einige physiologische Wirkungen erwähnt, soweit es im Zusammenhange notwendig war, wir wollen aber das gesamte bisher bekannte Tatsachenmaterial in diesem Abschniti besonders zusammenfassen.

Wir hatten bereits gezeigt, daß zwischen einzelnen Gruppen von Autoren scharfe Differenzen bestehen über gewisse grundlegende biologisch-physiologische Beobachtungen. Während His und seine Schule den Standpunkt innehält, daß das 2—4-M.-E.-Emanatorium zu Inhalationszwecken und zur Erreichung therapeutischer Wirkungen ausreicht, hält Lazarus nebst einer Reihe anderer Autoren dieses Emanatorium geradezu für wertlos. Während Gudzent die Möglichkeit einer Anreicherung der Emanation im Blute annimmt und darin von Marckwald, Bennewitz u. a. unterstützt wird, hat La-

zarus bei vielen Blutuntersuchungen keine diesbezüglichen Beobachtungen machen können, und Kemen, Wiechowski, von Knaffl-Lenz u. a. pflichten ihm bei. Während His die Trinkmethode verurteilt, indem er behauptet, daß die vom Darm aus resorbierte Emanantionsmenge mit den nächsten Atemzügen wieder ausgeschieden würde, erblicken Lazarus, Kemen, Mesernitzky u. a. in der Trinkmethode eine die Inhalation an Wirksamkeit weit übertreffende Applikationsart. Während Gudzent dem Radium D äußerst energische biologische und therapeutische Wirkungen zuschreibt, hält Lazarus das Radium D nahezu für indifferent.

Die theoretische Seite dieser Materie steht also noch im Zeichen der Diskussion und entbehrt, von der Parteien Gunst und Haß entstellt, noch der unerschütterlichen Grundlagen.

Es verdient indes hervorgehoben zu werden, daß über die praktischen Erfolge Zweifel nicht mehr bestehen können, nachdem von einer so großen Zahl von Autoren Berichte in der Literatur niedergelegt worden sind, wie sie selten bei der Einführung einer neuen therapeutischen Methode erreicht ist.

Die oben kurz präzisierten Kontroversen spielen auch in die Frage hinüber, auf Grund welcher Vorgänge die bei gichtischen Erkrankungen beobachtete therapeutische Beeinflussung eintritt.

Unbestritten steht fest, daß das Wesen der Gicht in einer Störung des Eiweißstoffwechsels zu suchen ist und daß, wenn man mehr ins Detail gehen will, eine Anomalie in der Bildung und Ausscheidung der Harnsäure besteht. Zur Gruppe der Harnsäure gehört das Purin, dessen Bildung und Zerstörung nach der Theorie von Brugsch und Schittenhelm in abnormer Weise verläuft. Jedenfalls wissen wir seit Garrod, daß die typischen Fälle von Gicht mit einer Anhäufung von Harnsäure im Blute einhergehen und daß sich die Harnsäure hierbei in den typischen Gichtknoten niederschlagen kann. Dementsprechend ist auch die Therapie immer auf die Entfernung der Harnsäure aus dem Organismus gerichtet gewesen, und auch in neuester Zeit noch zeigt sich, daß dieser Heilplan im allgemeinen zum Ziele führt. Dabei darf man nicht unterlassen, in geeigneten Fällen die diätetischen Vorschriften des purinfreien Regimes zu geben,

zumal dieses sozusagen nur eine Detailierung der üblichen Diätform nach einer bestimmten Richtung hin bedeutet.

Es unterliegt ferner keinem Zweifel, daß die Fermente eine außerordentlich wichtige Rolle im Ablauf der Stoffwechselprozesse spielen, und daß eine quantitative Unregelmäßigkeit in der Produktion dieser wichtigen Funktionäre mit tiefgehenden Eingriffen in die Stoffwechselprozesse verbunden ist, ja daß die typischen Stoffwechselkrankheiten, wie Gicht, Diabetes und Fettsucht in einem innigen Kausalzusammenhange mit einem Mangel oder völligem Fehlen spezifischer Fermente stehen; es darf erwähnt werden, daß der eine von uns (Lungwitz) diese Zusammenhänge für die Zuckerkrankheit in einer Reihe von Publikationen, besonders in seinem Buche „Ueber die Grundlagen der Zuckerkrankheit und ihrer Behandlung" dargestellt hat.

Um also die zweifellos hervorragenden Erfolge der Emanationsbehandlung bei der Gicht zu erklären, wären nach dem Vorstehenden zunächst zwei Möglichkeiten gegeben, nämlich einmal die Annahme einer direkten Einwirkung der Emanation bezw. ihrer Zerfallsprodukte auf die Harnsäure, sodann eine Beeinflussung des Stoffwechsels im Sinne einer Aktivierung der proteolytischen und anderer, vielleicht noch unbekannter im Eiweißstoffwechsel tätiger Fermente, so daß die Bildung und Zerstörung der Harnsäure auf diese Weise reguliert wird. Man könnte ferner daran denken, daß der Stoffwechsel im allgemeinen durch die Emnationsbehandlung eine Anregung erfährt.

Ueber die Einwirkung der Emanation auf die Fermente haben wir bereits in einem früheren Kapitel gehandelt, auf welches wir also verweisen können. Die diesbezüglichen Untersuchungen haben ergeben, daß die Emanation eine Aktivierung gewisser Fermente anzuregen vermag, ohne daß freilich bisher eine erschöpfende Erforschung dieses Wirkungsbereiches stattgefunden hätte.

Ueber die Beziehungen der Emanation zur Harnsäure hat sich in dem eingangs erwähnten Sinne eine außerordentlich lebhafte Debatte entwickelt, die noch jetzt die Gelehrten in zwei Parteien trennt. Gudzent stellte an der Ersten medizinischen Klinik in Berlin fest, daß die Harnsäure nur als Salz und zwar als Monoatriumurat im Blute vorkommt, und daß dieses Salz zwei-

erlei Formen annehmen kann, eine lösliche (Laktamurat), die nicht beständig ist, und eine unlösliche oder schwerlösliche von großer Beständigkeit (Laktimurat); beide Formen können durch stereochemische Umlagerungen in einander übergehen. Gudzent glaubt nun festgestellt zu haben, daß die Radiumemanation imstande ist, die Entwickelung des schwerlöslichen Laktimurats aus dem Laktamurat aufzuhalten, ja letzteres sogar in ersteres umzuwandeln, so daß also das bereits gebildete schwerlösliche Salz, das seiner Natur nach zur Bildung von Niederschlägen infolge Erschwerung der Ausschwemmung durch den Harn neigt, rückläufig in das leichter lösliche übergehen und auf diese Weise ohne Schwierigkeiten aus dem Organismus ausgeschieden werden kann.

Gudzent ist der Ansicht, daß nicht die Emanation als solche die geschilderte Wirkung ausübt, sondern ein Zerfallsprodukt derselben, nämlich das Radium D, dem er auf Grund seiner Experimente die Fähigkeit zuschreibt, das Monatriumurat in leichter lösliche Körper umzusetzen.

Die Gudzentschen Untersuchungen wurden von Fofanow und von Löwenthal fortgesetzt; ersterer fand, histologisch wie gewichtsanalytisch, daß die Radiumemanation künstlich erzeugte Tophi zu lösen vermag. Letzterer studierte gemeinsam mit Gudzent das Verhalten des Purinstoffwechsels bei Rheumatikern ohne Störung desselben und bei Gichtkranken mit Störung. Durch Inhalation von Emanation wurden in einzelnen Fällen ganz erhebliche Veränderungen der Harnsäure- und Purinbasenwerte im Vergleich mit der emanationsfreien Periode erzielt, und zwar führt Löwenthal diese Wirkung auf eine Aktivierung der die Harnsäure aufbauenden Fermente gegenüber den die Harnsäure abbauenden Fermenten zurück. In zwei Fällen von Purinstoffwechselstörung gelang es mittels Radiumemanation einen völligen Ausgleich zu erzielen.

Mesernitzky stellte fest, daß 100 Millionen M.-E. von Radiumemanation in 12 Tagen 29 mg Mononatriumurat bis zu Kohlensäure und Ammoniak zersetzen, und führt diese Wirkung hauptsächlich auf die Alpha-Strahlen zurück.

Des weiteren wird von Mesernitzky und Kemen berichtet, daß bei innerlicher Darreichung von nur 100 M.-E. die

Purinausscheidung erheblich zunimmt und bei Darreichung von 400 M.-E. das Dreifache der anfänglichen Menge erreicht.

Demgegenüber behaupten Lazarus, E. v. Knaffl-Lenz und Wiechowski, daß weder von der Emanation noch von ihren Zerfallsprodukten irgend eine chemische Einwirkung auf die Harnsäure ausgeübt würde. Ebenso konnten Bechold und Ziegler den von Gudzent behaupteten Einfluß der Radiumemanation auf das Mononatriumurat nicht konstatieren, wohl aber eine Hemmung des Ausfallens der freien Harnsäure, die im Serum leichter löslich ist als im Wasser.

Die klinische Erscheinung der Einwirkung der Emanation auf den Harnsäurestoffwechsel besteht in einem Verschwinden der Blutharnsäure bezw. in einer Steigerung der Harnsäureausscheidung. In der Tat wurde eine solche Steigerung der Harnsäureausscheidung von Gudzent und Löwenthal nach längerem Aufenthalt im Emanatorium festgestellt, wenn auch nur in geringem Grade, in anderen Fällen erwies sich der endogene Faktor als herabgesetzt. Ebenso stellte Krieg eine Erhöhung der Harnsäureausscheidung fest, desgleichen Kikkoji, der in einem Falle eine Steigerung von 95% fand. In Uebereinstimmung hiermit sind an der v. Noordenschen Klinik Steigerungen der Ausscheidung von mehr als 100% beobachtet worden. Uebrigens betont v. Noorden, daß der Harnsäuregehalt des Blutes keinesfalls ein Gradmesser für das Wohlbefinden oder die Gefährdung des Gichtikers sei. F. Klemperer stellte in zwei Fällen das Verschwinden der Blutharnsäure unter der Emanationsbehandlung fest.

Es ist also vorläufig noch nicht definitiv geklärt, ob die Emanation auf die chemische Konstruktion des Harnsäuremoleküls im Blute irgend einen Einfluß hat, und ebensowenig ist diese Frage hinsichtlich des Thorium X geklärt, wenn auch Falta und Zehner auf Grund ihrer Versuche eine bedeutende chemische Einwirkung des Thorium X auf die Harnsäure anzunehmen berechtigt sind, indem hiernach die Löslichkeit der harnsauren Salze erhöht und die Harnsäure selbst in weitgehendem Maße chemisch verändert wird. Speziell fanden sie, daß die Menge der durch Salzsäure ausfüllbaren Harnsäure abnimmt und die Murexidreaktion allmählich verschwindet.

Ueber den Einfluß der Emanation auf den Stoffwechsel wurden zuerst von Silbergleit mit dem Geppert-Zuntzschen Apparat Untersuchungen angestellt. Er verabreichte die Emanation per os und zwar 5000 bis 30 000 Einheiten, in einem Fall 50 000 Einheiten. Die Versuchspersonen waren gesunde junge Menschen. Silbergleit konnte nach Zuführung dieser Emanationsdosen eine Erhöhung des Gaswechsels beobachten, nachdem er ein Jahr vorher mit geringeren Dosen ein entgegengesetztes Resultat erzielt hatte. Dasselbe positive Ergebnis wurde von Kikkoji erzielt, der drei Personen mit dem Jaquet-Stähelinschen Apparat untersuchte und feststellte, daß zwei nach Verabreichung von 1000 M.-E. in drei Dosen innerlich im Verlaufe von 9 Stunden eine deutliche Steigerung des Gaswechsels aufwiesen.

Wieder mit dem Zuntz-Gepperschen Apparat arbeitete Bernstein, um vor und nach einem zweistündigen Aufenthalt in einem Inhalationsraum, dessen Luft 110 bis 440 M.-E. pro Liter enthielt, den Grundumsatz zu ermitteln. Er untersuchte 5 Fälle und fand in vieren eine deutliche Steigerung des Grundumsatzes nach der Inhalationsperiode, ebenso eine Steigerung des Respirationsquotienten, was auf eine Steigerung der Zuckeroxydation, also auf eine Erhöhung des Kohlenhydratstoffwechsels hinweist.

Benczur und Fuchs konstatierten, daß durch Radiumemanation, selbst wenn die dargereichten Dosen die therapeutischen Dosen um das hundertfache übersteigen, nur eine mäßige Steigerung des respiratorischen Stoffwechsels erzeugen könnten; hierbei ist es gleichgiltig, ob die Emanation durch Trinken oder durch Emanation einverleibt wird.

Aus der Erhöhung des Grundumsatzes ist vielleicht der Schluß zulässig, daß daran auch der Eiweißstoffwechsel partizipiert und daß so eine Erklärung für die außerordentlich hohe Steigerung der Harnsäureausscheidung schon bei gesunden Versuchspersonen zu gewinnen wäre. In Beziehung hierzu kann man die Tatsache bringen, daß nach experimentellen und klinischen Beobachtungen die Körpertemperatur eine Erhöhung erfährt nach der Inhalation von Radiumemanation. Darms berichtet in der Zeitschrift für exp. Pathl. und Therap. Bd. 10

Heft 1, daß diese Erhöhung sich innerhalb der ersten halben Stunde bemerkbar macht, worauf ein Temperaturabfall folgt. Wird die Emanation getrunken, so tritt dieser Temperaturabfall schon nach 5 Minuten ein, und nach weiteren 5 Minuten erfolgt wiederum ein Anstieg. Eine Herabsetzung des Fiebers bei Rheumatikern durch Inhalation wurde u. a. von Päßler beobachtet.

Temperatursteigerung nach Trinken von Radiumemanation stellte auch Löwenthal bei Patienten fest, die an bösartigen Neubildungen erkrankt waren; ebenso beobachtete Brieger nach Inhalation von Radiumemanation bei Phthisikern eine Temperatursteigerung bis 38°, die der Schwere des Falles etwa parallel verlief.

Das Blutbild wird unter dem Einfluß der Radioelemente in erheblichem Grade verändert. Nach einem Aufenthalt im Emanatorium nimmt zunächst die Zahl der Leukozyten erheblich zu (über 80%, Zehner und Kiamzim, ferner Auburtin und Delamasse) mit relativer Vermehrung der mononukleären Zellen. Dieselbe Wirkung ist bei der Trinkkur zu beobachten. Diese Hyperleukozytose kann bei Wiederholung der Darreichung bezw. der Inhalation immer wieder eintreten, bleibt aber auch vielfach aus. In den meisten Fällen entwickelt sich bei Verabreichung großer Dosen eine Leukopenie, wobei besonders die neutrophilen Zellen vermindert sind; dieselbe Erscheinung kann auftreten, wenn die Behandlung mit therapeutischen Dosen längere Zeit fortgesetzt wird. Engelmann injizierte hochwertige Radiumemanationslösungen intraarteriell, intravenös sowie in den Lumbalsack und fand unmittelbar nach den Injektionen eine beträchtliche Leukozytose. Die durch Radiumemanation erzeugte Leukozytose hält nach Engelmann länger an wie die nach Verabreichung von Thorium eintretende Vermehrung der Leukozyten. Ueber die therapeutische Bedeutung dieser Erscheinung wird in dem Kapitel über die Blutkrankheiten die Rede sein.

Ebenso stellen Brill und Zehner Untersuchungen über die Wirkung von Injektionen löslicher Radiumsalze auf das Blutbild an. Sie fanden eine starke Reizwirkung der Leukozytenproduktion, bei größeren Dosen eine Schädigung.

Die Erythrozytenbildung war auch bei den größten verwendeten Dosen längere Zeit erhöht.

Es sei noch auf die Beobachtung hingewiesen, die von den Velden über den Einfluß der Emanation auf die Gerinnung des Blutes anstellen konnte; seine Versuche ergaben, daß der Gerinnungsakt verzögert wird, eine Erscheinung, die sich übrigens bei anderen Gasen auch konstatieren läßt. Die Verlängerung der Gerinnungszeit wurde ebenso durch Einatmung wie durch Trinken oder Einspritzung von Emanation erzielt. Die Trockensubstanz, Refraktion und Fibrinmenge blieb unverändert. Eine spezifische Radiumwirkung ist nach von den Velden damit nicht gegeben.

Nach Domarius und Salle scheint das Thorium X ebenfalls eine Verzögerung der Blutgerinnung zu verursachen. Von anderer Seite wird das Gegenteil berichtet, ja die Anregung gegeben, das Thorium X bei Hämophilie zu versuchen.

Von verschiedenen Autoren (Plesch, Karczag, Keetmann, Löwy) wurde festgestellt, daß die Radiumemanation eine Erschlaffung der Gefäßwandungen herbeigeführt und daß diese Beeinflussung des Tonus in den verschiedenen Gefäßgebieten eine verschiedene sei. Löwy beobachtete speziell eine Abnahme des mittleren Füllungszustandes der Lungengefäße, wesentlich infolge Entleerung während der Herzdiastole.

In gleicher Richtung bewegen sich die Versuche von Krieg, der bei Verabreichung radiumhaltiger Kochsalzthermen eine Erhöhung der Herzleistungen und des Blutdruckes sowie der Diurese beobachtete, einhergehend mit einer erhöhten Ausscheidung von Harnstoff, Harnsäure und festen Bestandteilen.

Experimentell studierte Maaß die Wirkungen der Radiumemanation auf das Herz, indem er das isolierte Froschherz nach der Methode von Jakobi mit radioaktiver Ringerlösung behandelte. Es trat wenige Minuten nach der Applikation der Emanation Herzstillstand in höchster Diastole ein. Durch Auswaschen des Herzens mit einfacher Ringerlösung wurde die normale Funktion des Herzens meist wieder hergestellt. Auch durch Tho-

rium X wurde eine Unregelmäßigkeit und Herabsetzung der Herztätigkeit bis zur völligen Dekompensation beobachtet.

Der Blutdruck wurde beim Hunde, der Emanation inhalierte, von Loewy untersucht, indes hat sich ein bestimmter Ausschlag nach unten oder oben nicht ergeben. Plesch prüfte die gleiche Frage mittels des Uskoffschen Apparates am Menschen mit dem Ergebnis, daß durch den Aufenthalt im Emanatorium bei 8 von 10 Versuchspersonen der Maximaldruck, bei vieren zugleich auch der Minimaldruck mehr oder weniger stark herabgesetzt wurde. Eine Erhöhung des Blutdruckes wurde nicht festgestellt.

Ebenso wenig konnte Plesch einen Einfluß auf den respiratorischen Stoffwechsel wie auf den Sauerstoffgehalt des arteriellen und des venösen Blutes feststellen.

Eine Aenderung des Elektrokardiogramms blieb auch bei Inhalationen von 50 000 M.-E. aus (Plesch).

Von Plesch und seinen Mitarbeitern Karczag, Keetmann, Maß und Pappenheim wurde auch die physiopathologische Wirkung des Thorium X untersucht. Ihre Ergebnisse sind kurz folgende:

1. Die Atmung bleibt beim Gesunden so gut wie unbeeinflußt. Bei kardialer Dyspnoe und Pneumonie verändert sich Atemtypus und Atemtiefe.

2. Die Lungen zeigen beim vergifteten Kaninchen eine Vergrößerung des Volumens (emphysemähnliche Blähungen) und hochgradige Kongestionierung. Spirometrisch läßt sich eine Vergrößerung des Residualluftvolumens feststellen sowie eine Zunahme des Totalvolumens.

3. Bei hohen Dosen von Thorium X zeigt sich eine deutliche Abnahme der Schlagfrequenz und eine Dehnung des Herzens, bei gleichbleibendem Schlagvolumen, wenn das Herz (des Frosches) ohne Widerstand arbeitet. Mußte es gegen einen großen Druck (260 mm Wasser) arbeiten, so trat auf Beigabe des Thorium X zur Durchspülungsflüssigkeit alsbald Herzstillstand in äußerster Diastole ein. Bei Durchspülung mit normaler Ringerlösung erholt sich das Herz. In einem anderen Versuch

wurde im Gegensatz zu diesem eine Besserung der Herzkraft bei Verabreichung von größeren Dosen 110 000 M.-E. und 160 000 M.-E. beobachtet. — Beim Menschen sinkt gleich nach der intravenösen Injektion von 500 000 M.-E. die Pulskurve, ist aber schon nach 8 Herzschlägen wieder zur Norm zurückgekehrt.

4. Unter dem Einfluß von Thorium X tritt eine Blutdrucksenkung ein, die längere Zeit anhält und viel größer ist als die durch Radiumemanation erzeugte, bei einzelnen Fällen jedoch ausbleibt. Die Blutdruckerniedrigung bleibt auch nach Zerfall der Emanation mit Ausscheidung der Zerfallsprodukte bestehen. Die Erniedrigung ist umso größer, je höher der Blutdruck war, und ist ferner abhängig von der dargereichten Dosis Thorium X.

Die Senkung des Blutdruckes wird von P l e s c h auf eine Herabsetzung des Gefäßtonus zurückgeführt, die auch aus dem Verhalten des Froschherzens angenommen werden kann, und zwar bezieht sich diese Abnahme des Tonus speziell auf das Arteriensystem, wodurch das Venensystem entlastet wird. Es ergibt sich hieraus eine Einwirkung auf die Atmung, die therapeutisch von großer Bedeutung werden kann. Einflüsse von seiten der vasomotorischen Nerven lehnt P l e s c h im Gegensatz zu L o e w y ab, sofern diese sich in bestimmten Gebieten geltend machen und in anderen Gebieten ausbleiben sollen.

Abgesehen von diesen mehr oder weniger auf bestimmte Organe oder Stoffe gerichteten Wirkungen finden wir nach Applikation von Emanation auf die verschiedenen Methoden auch eine a l l g e m e i n e p h y s i o l o g i s c h e E i n w i r k u n g. Auf einige dieser Erscheinungen sind wir schon eingegangen, z. B. auf die Wahrnehmung von G r a b l e y, der angibt, daß der Emanationsgehalt der Luft, der von gewissen meteorologischen Verhältnissen in gewissen Grenzen abhängig sei, sich durch einen Einfluß auf das Wohlbefinden, besonders bei nervösen und rheumatischen Personen geltend mache. Statt der Emanation kann man auch, wie S t e f f e n s sagt, die durch die radioaktive Strahlung erzeugte Ionisierung der Luft hierfür verantwortlich machen, in dem Sinne, daß bei Abfall der Ionenzahl der Luft Unbehagen sich einstellt, besonders wenn die negativen Ionen heruntergehen. Daß die Stimmung und das Wohlbehagen

der Gesunden wie der Nervösen, ja man kann sagen überhaupt der Kranken in ziemlich hohem Grade von der Witterung abhängig ist und durch Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Sonnenschein und andere Faktoren stark beeinflußt wird, ist eine allbekannte Tatsache, und es ist durchaus naheliegend, daß zu diesen Faktoren auch die Radioaktivität gehört, mag nun die Emanation direkt einwirken, etwa durch Erzeugung der induzierten Aktivität oder mag sie ihren Einfluß mittelbar auf dem Umwege über die Ionisierung und elektrische Leitfähigkeit der Luft geltend machen.

Ob auch der sogen. Brunnenrausch auf dieselben Einflüsse zurückzuführen ist, bleibt noch ein ungelöstes Rätsel. Es ist Tatsache, daß besonders bei Neurasthenikern die Emanationsbehandlung Erregungszustände hervorrufen kann, wie es ja auch bekannt ist, daß sich speziell bei Rheumatikern und Gichtikern die sogen. Reaktion in der ersten Zeit der Radiumbehandlung vielfach einstellt. Ob sich derartige Zustände auch in die Form von rauschähnlicher Benommenheit kleiden können, muß vorläufig dahingestellt bleiben, bis vielleicht der Brunnengeist sich von selbst zur Lüftung seines Geheimnisses wird bereitfinden lassen.

Die Erscheinungen der Reaktion bei Emanationsbädern wurden zuerst von Löwenthal beobachtet und in Parallele gesetzt zu den Reaktionen, die Aerzten und Patienten von den Thermalbädern her bekannt sind und als ein günstiges prognostisches Zeichen für den Erfolg der Kur aufgefaßt wurden. Diese Reaktion äußert sich als eine Verschlimmerung der Schmerzen; Entzündungserscheinungen an früher befallenen und lange Zeit hindurch frei gebliebenen Gelenken können durch Emanationsbehandlung plötzlich wieder eintreten. Diese Reaktionserscheinungen sind von zahlreichen Autoren bestätigt worden, von anderen wiederum wird ihr Auftreten bestritten. Man darf hieraus den Schluß ziehen, daß es auf die individuelle Konstitution ankommt, speziell wahrscheinlich hinsichtlich des Eintritts der Reaktion auf die Konstitution der Nervensphäre. Auch ist kein prinzipieller Zusammenhang gegeben zwischen dem Eintritt der Reaktion und der Besserung des behandelten Leidens. Es kann einerseits, auch wenn eine typische Reaktion erfolgt, die erhoffte

Besserung ausbleiben, andererseits der gewünschte Erfolg eintreten, auch wenn jede Reaktion ausgeblieben ist. In manchen Fällen können die Reaktionserscheinungen so störend oder so schmerzerregend werden, daß eine Unterbrechung der Behandlung notwendig wird.

Während auf gewisse Personen die Emanation schon in kleiner Dosis anregend, erfrischend und auf das Allgemeinbefinden stimulierend einwirkt und sozusagen dem herabgesetzten Lebensprozeß neue Energie zuführt, fühlen sich wiederum andere Personen genau in den entgegengesetzten Zustand versetzt, indem sie eine beruhigende Einwirkung an sich verspüren. Es liegen Berichte in der Literatur vor, nach denen die Emanation den Schlaf befördert und eine ausgesprochene sedative Wirkung entfaltet, während von anderen Seiten berichtet wird, daß gerade durch die Emanationsbehandlung eine allgemeine Erregung und besonders Schlaflosigkeit und andere erethogene Erscheinungen eintreten. Wie wiederholt hervorgehoben, entscheidet auch hier die Individualität, so daß sich in der Regel bestimmte Voraussagen vorläufig kaum machen lassen; eine sichere Prognose zu stellen, wird erst dann möglich sein, wenn der Einfluß nicht nur auf das Nervensystem, sondern vor allem auch auf die psychische Sphäre aus dem Stadium der Schlußfolgerungen in das des wissenschaftlichen Beweises übergegangen sein wird.

Daß auf das Nervensystem durch die Radioelemente eine bestimmte Wirkung ausgeübt wird, die sich bis in die kompliziertesten Funktionen hinein geltend machen, sich also auch auf das psychische Wohl- oder Uebelbefinden erstrecken kann, daran brauchen wir nicht zu zweifeln, und es gibt keinen Grund dafür, daß etwa ein bestimmtes Organ oder Organsystem sich der Emanation gegenüber völlig indifferent verhalten sollte. Vielmehr ist wahrscheinlich, daß auch die Allgemeinwirkung der Emanation dem biologischen Grundgesetz gemäß verlaufen wird, nach dem kleine Dosen eine Reizwirkung, große Dosen eine hemmende Wirkung ausüben.

C. Klinische Erfahrungen bei gichtischen und rheumatischen Erkrankungen.

Gicht und Rheumatismus bilden in ihren verschiedenen Formen eines der Hauptindikationsgebiete für die Radiumbehandlung. Zweifellos sind diese Krankheitserscheinungen verwandter Natur, wie sie ja vielfach vergesellschaftet sich vorfinden oder öfters in Symptomenkomplexen auftreten, die eine sichere Differentialdiagnose, ob Rheumatismus oder Gicht, nicht ohne weiteres gestatten.

Rheumatische Erscheinungen treten sowohl in den Gelenken in Form der verschiedenen Arten von Arthritis, wie in der Muskulatur in Form von Myalgien und im Nervensystem in gewissen Formen von Neuralgien auf. Dementsprechend reagieren auch diese verschiedenen Erscheinungsformen der rheumatischen Diathese günstig auf die Emanationsbehandlung. In den in der Literatur niedergelegten Berichten sind auch in der Regel alle diese Krankheitserscheinungen als eine Gruppe behandelt und der Emanationsbehandlung unterzogen worden.

Die Pathogenese des Rheumatismus ist exakt wissenschaftlich noch sehr wenig erforscht; die Empirie erblickt seinen Ursprung — entsprechend der Volksmedizin — in Temperaturdifferenzen verschiedenster Art, die man landläufig als Erkältungen bezeichnet. Auch das Wesen der Gicht bietet noch vielerlei Rätsel, obwohl wir wenigstens die Grundlage kennen: die Störung des Eiweißstoffwechsels, die sich in einer Anomalie der Harnsäurebildung und -zerstörung, zusammenhängend mit einer Desorganisation des Purinstoffwechsels, äußert. Die Therapie der Gicht hat sich also in erster Linie mit dem Ausgleich dieser Störung, symptomatisch mit der Eliminierung der Blutharnsäure zu beschäftigen.

In der Tat ist in zahlreichen Fällen von Gicht durch die Emanationsbehandlung das Verschwinden der Harnsäure aus dem Blute konstatiert worden. Wir haben oben gesehen, daß über den Einfluß der Emanation auf die Harnsäure zwischen den verschiedenen Autoren, die sich in zwei Lager geschieden haben, prinzipielle Kontroversen bestehen. Daß indes tatsächlich die Harnsäure durch Emanation zum Verschwin-

den gebracht werden kann, ist von so vielen Seiten bestätigt worden, daß ein Zweifel nicht mehr erlaubt zu sein scheint. Es fragt sich nur, ob in dieser Eliminierung der Harnsäure der therapeutische Effekt bei der Gicht zu suchen ist.

Es muß zunächst mitgeteilt werden, daß einzelne Autoren das Verschwinden der Blutharnsäure unter der Emanationsbehandlung bestreiten. So berichtet Mandel, daß der Harnsäuregehalt nach der Emanatoriumskur vollständig unverändert war, desgleichen Braasch und ebenso Brugsch, der besonders kategorisch folgenden Satz dekretiert: „Bei keinem Gichtiker habe ich noch das Verschwinden der Harnsäure aus dem Blute konstatiert", scil. nach der Behandlung im 2 M.-E.-Emanatorium. Ja Lazarus gibt sogar an, daß er gerade umgekehrt bei Trinkkuren eine Vermehrung der Blutharnsäure gefunden habe.

Trotzdem ist über die klinischen Erfolge durchaus nicht zu streiten. Ja auch die Autoren, die das Verschwinden der Blutharnsäure negieren, berichten über günstige Erfolge, zum mindesten über erkennbare Besserungen, und es bleibt, um dieses scheinbare Paradoxon aufzuklären, nur die Annahme übrig, daß die alte Hypothese Garrods von der Bedeutung der Harnsäure für die Gicht nicht zutreffend ist, entweder überhaupt nicht oder nur in einer Reihe von Fällen. Es wird über Fälle berichtet, die ausgesprochene Besserungen zeigten, obwohl der Harnsäuregehalt des Blutes völlig unbeeinflußt blieb — und ebenso über Fälle, die vollständig negativ verliefen, obwohl die Harnsäure aus dem Blute verschwunden war. Endlich sind Fälle beschrieben, die unter der Emanationsbehandlung ihre Harnsäure aus dem Blute und damit ihre gichtischen Beschwerden verloren, sozusagen aber mitten im Frieden von einer neuen Attacke typischer Gicht bei Freisein des Blutes von Harnsäure überfallen wurden.

Wir wollen im folgenden die Autoren an Hand ihrer Erfahrungen selbst zu Worte kommen lassen, wobei wir keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit erheben.

1. Akuter Gelenkrheumatismus.

v. Klecki war der erste, der in einem Falle von akutem Gelenkrheumatismus erfolgreich Radiumemanation anwandte, nachdem die Salicylbehandlung versagt hatte. In neuerer Zeit ist an der Wiener I. medizin. Klinik diese Behandlungsmethode durchgeprüft worden mit dem Ergebnis, daß ein durchgreifender Erfolg bei Verwendung großer Dosen und im Emanatorium erzielt werden könne; diese ist allerdings die unumgänglich notwendige Voraussetzung. Die Dosen an Emanation waren in der Regel 220 M.-E. pro Liter, wurden jedoch in manchen Fällen erheblich gesteigert. Die Sitzungen dauerten täglich im Durchschnitt zwei Stunden. Reaktionen wurden in einigen der günstig beeinflußten Fälle beobachtet. Die Veränderungen des Blutdruckes entsprachen den bereits besprochenen Verhältnissen: zu Anfang Hyperleukozytose, alsdann Absinken derselben. Nach v. Noorden ist der Erfolg zweifelhaft, wenn nicht schon in den ersten Tagen deutliche Besserung bemerkbar wird.

Der Vorteil der neuen Behandlungsmethoden besteht vor allem darin, daß die Salicyltherapie vermieden werden kann, wenn sie nicht vertragen wird oder anderweite Kontraindikationen (Nierenreizung!) bestehen. Der Prozentsatz der auf die Emanationsbehandlung günstig reagierenden Fälle ist der gleiche wie bei der Salicylbehandlung; es verhalten sich diejenigen Fälle, die auf die Emanationsbehandlung versagten, auch gegen Salicyl refraktär; in solchen Fällen ist ein Versuch mit Antipyrin zweckmäßig. Bei komplizierender Endokarditis oder Perikarditis ist mit der Emanationsbehandlung Vorsicht zu empfehlen.

2. Chronischer Gelenkrheumatismus.

Der Erfolg der Radiumbehandlung bei den chronischen Gelenkprozessen ist wesentlich abhängig vom Alter der krankhaften Veränderungen. Je jünger der Prozeß zur Behandlung gelangt, desto mehr Aussichten bietet sie, während umgekehrt, wenn hochgradige anatomische Veränderungen, irreparable destruktive Prozesse, Verwachsungen, Ankylosen usw. vorliegen, sehr geringe Aussichten bestehen, wenigstens auf völlige Rück-

bildung. Die Schmerzhaftigkeit kann unter allen Umständen günstig beeinflußt werden.

Die ersten Untersuchungen liegen von Löwenthal, Kraus, v. Neusser, Gudzent u. a. Autoren vor. An der I. Medizinischen Klinik in Berlin gelangte die Emanationstherapie der chronischen Gelenkerkrankungen in großem Umfange zur Anwendung. Gudzent berichtete über 400 Fälle von Arthritis und Gicht die im 2 M.-E.-Emanatorium, nur ausnahmsweise mit der Trinkmethode behandelt wurden, außerdem wurden in fast allen Fällen Injektionen von löslichen Radiumsalzen in die Umgebung der erkrankten Körperteile appliziert. Desgleichen wurden radioaktive Kompressen ausgiebig angewendet, speziell in den Fällen mit umschriebener Schmerzhaftigkeit. Daneben kamen die altbekannten Heilfaktoren wie unbedingte Ruhe, womöglich strikte Bettruhe, nach dem Nachlassen der Schwellungen und Schmerzen Massage und Bewegungsübungen, ferner Heißluft-, Solebäder, elektrische Lichtbäder, Thermopenetration usw. zur Anwendung. Und endlich wurde ausreichend für gute Ernährung und Darreichung von Roborantien gesorgt.

Zu Anfang der Behandlung macht sich zunächst in vielen Fällen die Reaktion in Form einer Verschlimmerung der Beschwerden geltend, die gern als prognostisch günstiges Zeichen aufgefaßt werden. Gudzent hebt aber hervor, daß der Erfolg der Kur auch dann eintreten kann, wenn die Reaktion ausbleibt.

In der Mehrzahl der erfolgreich behandelten Fälle ist in der dritten Woche ein Nachlassen der Schmerzen, ein Zurückgehen der Schwellungen und eine Besserung der Bewegungsfähigkeit in den Gelenken zu konstatieren. Besonders günstig reagieren die Arthritiden des Kindesalters, die für die sonstigen Behandlungsmethoden im allgemeinen recht schwer zugänglich sind. — In manchen Fällen wird die Besserung einige Zeit nach Beendigung der Kur eintreten, und wieder in anderen Fällen ist eine Wiederholung der Kur nach etwa vierwöchiger Pause erforderlich.

Irgend welche schädlichen Wirkungen hat Gudzent nicht beobachtet. Uebrigens hat auch Löwenthal durch Selbstversuche, Tierversuche und Beobachtungen an Gesunden die Unschädlichkeit der Emanation in den therapeutisch wirk-

samen Dosen festgestellt, was von zahlreichen anderen Autoren bestätigt wurde.

Prognostisch am günstigsten sind, wie bereits bemerkt, die kindlichen Gelenkrheumatismen, ferner die leichten und mittelschweren Fälle der Hoffaschen Polyarthritis chronica progressiva, am ungünstigsten die Monarthritis und Oligarthritis deformans, die ankylosierenden Wirbelsäulen-Versteifungen und die Heberdenschen Knoten, obwohl auch diese vielfach erheblich gebessert werden können.

Bei luetischen und tuberkulösen Gelenkerkrankungen versagt die Radiumtherapie, wie auch von Jansen bestätigt wird.

Die gonorrhoische Monarthritis und Polyarthritis reagiert günstig auf Radiumsalzinjektionen in die Umgebung der erkrankten Gelenke, nicht dagegen führt Inhalation und Kompressenapplikation zum Ziele.

Die Dauer des Erfolges ist individuell verschieden; allgemeine prognostische Richtlinien gibt es nicht: während der eine Fall dauernd geheilt bleibt, wird der andere eventuell durch den Zutritt der ursprünglichen Schädigung rückfällig.

Nagelschmidt wandte Emanation ebenfalls mit günstigem Erfolge bei Gelenkrheumatismus und Muskelrheumatismus an, indem er mit sehr geringen Dosen begann und erst im Verlaufe einer Woche auf 10 000 M.-E. anstieg. Auf dieses Einschleichen ist es vielleicht zurückzuführen, daß Nagelschmidt eine Reaktion nicht beobachten konnte.

In einem Vortrage über die Behandlung der Gicht und des Rheumatismus mit Radium in der Berliner Med. Gesellschaft am 18. Januar 1911 berichtete His über 100 Fälle von chronischem Rheumatismus, von denen 47 gebessert, 29 erheblich gebessert, nahezu geheilt wurden 5, ungebessert blieben 13 und 6 sich der Behandlung entzogen. Einige besonders interessante Fälle seien hier nach der Berl. klin. Wochenschr. 1911 Nr. 5 angeführt.

Ein Kind von 8½ Jahren litt seit ¾ Jahren an symmetrischen Schwellungen fast aller Gelenke der Extremitäten, so daß es weder Hände noch Füße gebrauchen konnte. Bereits nach

8 tägiger Behandlung konnte das Kind wieder gehen, auch die Hände gebrauchen, obwohl bei Kindern der chronische Rheumatismus gewöhnlich besonders hartnäckig ist.

Ein 20jähriges Mädchen litt seit 2 Monaten an subakuten Schwellungen der beiden Sprunggelenke und wurde innerhalb 3 Wochen geheilt. In der gleichen Zeit wurde eine subakute Schwellung beider Fußgelenke geheilt.

Ein 19jähriges Mädchen, das seit 3 Jahren an exsudativer Polyarthritis aller Extremitätengelenke litt und alle möglichen Kuren vergeblich gebraucht hatte, wurde durch eine dreimonatige Behandlung mit Radium (Emanation und Trinkkur) wesentlich gebessert, die Gelenke schwollen ab, Hände und Füße konnten wieder gebraucht werden. Die Besserung wurde eingeleitet durch eine anfängliche Vermehrung der Schmerzen.

Ein Fall von ziemlich veralteter Myalgie wurde durch Radium in außerordentlich günstiger Weise beeinflußt.

Von zahlreichen Autoren wird die schmerzstillende Wirkung hervorgehoben und durch charakteristische Beiträge bewiesen. Diese besonders schätzenswerte Eigenschaft der Radioelemente macht sich namentlich bei lokaler Applikation geltend, also bei Verwendung von radioaktiven Kompressen. Ueber eine größere Anzahl von Fällen, zu denen er selbst gehört, berichtet z. B. Auerbach; es handelt sich um rheumatische Interkostalneuralgie, Versteifung der Finger infolge schwerer Phlegmone der rechten Hand, Ischias und Rheumatismus der Ferse.

Strasburger benutzte zur Behandlung mit Radiumemanation den Neumannschen Aktivator, und zwar einen Apparat, der täglich 14 Liter aktivierten Wassers mit einem Emanationsgehalt von ca. 800 bis 1000 M.-E. pro Liter lieferte; das Wasser nahm die Emanation von einem aus den Rückständen der Kreuznacher Mutterlauge stammenden Radiumpräparat auf. Auf diese Weise stellte er Vollbäder mit einem Gehalt von 5600 bis 7000 M.-E., in einzelnen Fällen auch vom doppelten Gehalte her. Auch wurde das aktivierte Wasser zu Umschlägen und zum Trinken benutzt. Dieser Aktivator wurde nach ¾ Jahren allmählich insuffizient, worauf er durch einen zweiten ergänzt wurde, der täglich 11 000 ccm Wasser mit 2000 M.-E. lieferte.

Ein dritter Aktivator ergab täglich 2½ Liter Wasser mit je 1300 bis 1500 M.-E. Es wurden Bäder von 10—15 000 M.-E. hergestellt. Zum Trinken wurden täglich 700 bis 1000 M.-E. in zwei bis drei Dosen verabreicht, später in vier bis sechs Dosen.

Behandelt wurden 48 Patienten von Arthritis chronica deformans, Malum coxae senile, chronischem Gelenkmuskelrheumatismus, Arthritis urica, Ischias und Neuritis. Der Erfolg war folgender: „In einem nicht geringen Prozentsatz der Fälle chronisch rheumatischer Erkrankungen, besonders von Arthritis eines oder mehrerer Gelenke, bei denen bisher jede andere Therapie keinen oder nur geringen Erfolg gebracht hatte, wurde ein günstiges, in einigen Fällen sogar überraschendes Resultat erzielt."

Die Kombination von Bade- und Trinkkuren empfehlen u. a. Mannes und Wellmann. Sie behandelten chronische Gelenkerkrankungen, Arthritis deformans, gonorrhoische Arthritis, Gicht, Residuen, Neuralgien, Ischias und Tabes dorsalis. Es wurden Quanten von 100 bis 200 ccm in zwei Rationen gegeben. Besonders günstig reagierten außer Gicht und Tabes die chronische Arthritis, allerdings war die Reaktion in einigen Fällen so stark, daß die Behandlung unterbrochen werden mußte.

Benczur behandelte 60 Patienten mit Radium-Trink-, resp. -Injektionskuren, darunter auch Fälle von chronischem Rheumatismus, meist mit günstigem Erfolge.

In gleichem Sinne äußert sich Davidsohn über Emanationstrinkkuren bei rheumatischen Leiden.

Kemen wandte Radiumemanantion in einer großen Anzahl von Fällen an und erzielte bei chronischem Gelenkrheumatismus, Gicht und Neuralgien im allgemeinen gute Erfolge.

Ueber einen besonders auffälligen Erfolg in einem Falle von hochgradigem Malum coxae senile berichtete Moritz in der Rhein.-westfl. Ges. f. innere Medizin und Nervenheilkunde; es trat eine weitgehende Besserung der Schmerzen ein. Ebenso wurden die Schmerzen in einem Falle von chronischer Spinalerkrankung nach Unfall außerordentlich gebessert.

Warburg und Boden behandelten zahlreiche Patienten in der Emanationskammer, in der starkes Emanationswasser in reichlicher Menge fein zerstäubt wurde und gleichzeitig

von den Patienten emanantionshaltiges Wasser schluckweise getrunken wird. Jede Sitzung dauerte zwei Stunden. Die Luft der 18 cbm großen Kammer enthielt 120 000 M.-E. Ganz auffallend wurden gebessert Gicht, Muskelrheumatismus, Ischias und die lanzinierenden Schmerzen der Tabiker.

Straßer und Selka sahen sehr günstige Erfolge bei Arthritis subakuta und chronika, Arthritis deformans, Ischias und anderen Erkrankungen, von denen später die Rede sein wird.

Mendel spritzte intramuskulär je 2 ccm steriles Radiogen in physiologischer Kochsalzlösung bei Rheumatismus, Arthritis deformans, Gicht und in einem Falle von Raynaudscher Krankheit mit gutem Erfolg ohne Schädigung ein.

Goldberg verabreichte Rheumatikern und Gichtikern täglich 1000 M.-E. in einem halben Liter Wasser und erzielte in leichten Fällen fast stets völlige Genesung oder bedeutende Besserung, aber auch in schweren Fällen, selbst bei erheblichen anatomischen Veränderungen der Knochen und der Knorpel, zum mindesten ein Zurückgehen der schmerzhaften Veränderungen der Weichteile sowie ein Schwinden der Schmerzen. Autor ist der Ansicht, daß die Radiumemanation bei rheumatischen und gichtischen Gelenkleiden ein sehr wirksames Heilmittel ist, im Vergleich zu dem alle anderen bis dahin benutzten Mittel auch nicht annähernd gleich gute Erfolge erreicht hätten.

Hans Jansen erzielte folgende Resultate: von 10 Patienten mit subakut-chronisch-polyartikulärem Rheumatismus wurde bei zweien ein voll befriedigender Erfolg erzielt, bei zweien war die Besserung bedeutend, zwei reagierten gar nicht und vier mußten die Behandlung wegen febriler Reaktion aufgeben. Neun zeigten eine Reaktion. — Bei zwei Patienten mit Arthritis humeri sicca chronica war das Resultat gut, ein Fall war negativ. — Von 6 Patienten mit Rheumatismus kamen fünf zu einem günstigen Resultat.

Päßler untersuchte die Frage, ob der bloße Aufenthalt der Patienten in der Emanationskammer den gleichen therapeutischen Effekt zu erzielen vermag wie der Gebrauch der radioaktiven Teplitzer Thermalbäder. Nach den Ergebnissen seiner Versuche meint er diese Frage bejahen zu müssen. Die Heilwirkung der Radioaktivität bei rheumatischen Affektionen und

bei Ischias kann auch ohne den Gebrauch der Bäder durch bloße Inhalation der Quellgase erzielt werden. Der Autor kommt zu folgenden Schlüssen.

„1. Die spezifische Wirkung der Teplitzer Badekur auf die sogenannten rheumatischen Krankheiten wurde in ausgezeichneter, wahrscheinlich sogar in verstärkter Weise auch ohne Gebrauch der Bäder, durch bloßen Aufenthalt in einem mit den Quellgasen erfüllten Raum (Emanationskammer) erzielt. Der Aufenthalt in der Emanationskammer wurde auch von geschwächten und empfindlichen Personen vorzüglich vertragen, so daß die Anwendungszeit gegen die übliche Badedauer ohne Schaden wesentlich verlängert werden konnte. Die bequeme Art der Anwendung erlaubt die Benutzung der Inhalationskammer auch solchen Kranken, deren Schwerbeweglichkeit den Gebrauch der Badekur ausschließt.

2. Die Emanantionskammern erlauben bereits mit technisch ganz einfachen Mitteln eine Anreicherung der den Quellen unmittelbar entspringenden Radiumemanation."

Die Dauer des Aufenthaltes betrug zweimal täglich ½ bis ¾ Stunde; die Gesamtdauer einer Kur bei Rheumatismus durchschnittlich 69 Tage, bei Ischias in drei Fällen 11, 36, 67 Tage. Die Reaktion wurde in vielen Fällen beobachtet.

In der Kammer waren 5,1 M.-E. pro Luftliter vorhanden (T u m a). Bei Entnahme des Wassers aus dem Quellschacht der Urquelle bei einer Temperatur von 48—50 ° Celsius fand T u m a 3,8 M.-E., im Sammelbassin des Badehauses 0,92, am Auslauf in eine Wanne 0,83 M.-E. Die Temperatur in der Kammer stieg bis auf 35 ° Celsius, die Luft war mit Wasserdampf gesättigt.

Wichtig ist die Beobachtung von P ä ß l e r , daß das Fieber der Rheumatiker nach Beginn der Inhalationen rasch zurückging und in 8, 10 und 17 Tagen bei den untersuchten drei Fällen vollständig schwand. Dagegen beobachtete J a n s e n in Uebereinstimmung mit anderen Autoren das Auftreten einer febrilen Reaktion bei 4 von 10 Patienten, so daß die Behandlung abgebrochen werden mußte.

P ä ß l e r hat also durch Inhalationsbehandlung in einer Kammer mit durchschnittlich 5 M.-E. pro Luftliter sehr gute Erfolge erzielt, ohne die Teplitzer Thermalbäder gebrauchen zu

lassen, ja er sagt ausdrücklich, daß der Effekt bei bloßer Inhalation „wahrscheinlich sogar in verstärkter Weise" aufgetreten sei. Nun hat an seiner Klinik Görner 80 Fälle von Polyarthritis mit Trink- und Badekuren behandelt, und zwar mit einem völlig negativen Erfolg. Er verabreichte innerlich 5000 bis 15 000 Einheiten Radiogenwasser und steigerte die Dosis bis zu 20- und 30 000 Einheiten pro Tag. Die Behandlung dauerte sechs Wochen. Hierbei traten nach Angaben von Görner vorübergehend sogar Verschlimmerungen ein, „wie sie meist als Reaktionen aufgefaßt werden". Wendungen im Krankheitsverlauf, die als einigermaßen einwandfreie Erfolge hätten aufgefaßt werden können, wurden niemals beobachtet. Der häufig wechselnde Verlauf der subakuten Polyarthritis blieb unverändert bestehen. Auch späterhin trat eine nachträgliche Aenderung zum Besseren nicht ein.

Für die Bäder wurden 10 000 Einheiten Radiogen verwendet oder zwei bis vier Stück der Keilschen Badetabletten, die je 2000 bis 2500 Emanationseinheiten abgeben. Auch durch die Bäder konnten irgend welche beweisenden Heilerfolge nicht erzielt werden. Es wurden behandelt subakute und chronische Rheumatismen, chronische Ischiasfälle, alles Patienten, die bereits mit den sonst üblichen Methoden erfolglos oder ohne genügenden Erfolg behandelt worden waren. Kurz darauf sagt aber Verfasser, daß „während einer längeren Periode alle überhaupt in Betracht zu ziehenden Fälle, welche ins Krankenhaus aufgenommen wurden, gleichmäßig der Emanationstherapie unterworfen wurden." (Also anscheinend nicht nur ausgewählte Fälle, die bisher erfolglos oder ohne genügenden Erfolg behandelt worden waren?)

Ebenso erfolglos war die Görnersche Behandlung von Rheumatikern mit 1—10 Stück der Keilschen Inhalationstabletten zu je 7000 bis 8000 Einheiten. Auch hier wurden eklatante Erfolge oder auch nur solche Resultate, die bei nüchterner Betrachtung mit Wahrscheinlichkeit der Therapie zuzuschreiben gewesen wären, nicht erzielt.

Endlich versuchte Görner die Applikation von Joachimsthaler Pechblendrückständen, Uranpecherz und Rückständen von Pechblende aus den Königl. Sächs. Blaufarbenwerken zu Nieder-

schlema, die in Säckchen eingenäht und lokal appliziert wurden, und zwar auf die Dauer von einigen Wochen ununterbrochen. Desgleichen wurden Kompressen von L. Marcus, Berlin, verwandt, die einen Abfall von 2800 Volt im Engler-Sive-kingschen Apparat ergaben. Hiermit erzielte Görner nun Erfolge. Die Beweglichkeit grob veränderter Gelenke besserte sich und gleichzeitig nahm die Schmerzhaftigkeit ab.

Die Zahl der Autoren, die über negative Resultate der Emanationsbehandlung berichten, — wir finden noch die skeptischen Aeußerungen von Th. Rumpel, der mit geringen Dosen arbeitete — ist gegenüber denen, die günstige Erfolge erzielt haben, verschwindend klein. Um so mehr muß es Wunder nehmen, daß Görner seine auffällig schlechten Resultate dadurch zu erklären sucht, daß er die in der Literatur niedergelegten günstigen Berichte als unfähig, einer strengen Kritik standzuhalten, bezeichnet und den geradezu zahllos mitgeteilten Krankengeschichten eine wirkliche Beweiskraft abspricht, weil sie „fast ausnahmslos viel zu summarisch gehalten seien". Wir müssen in der Tat gestehen, daß u. E. dieses großzügige Abtun einer ungeheuren Literatur einen etwas unbescheidenen Eindruck macht; vielleicht wird Görner seine Ansicht revidieren, wenn er seine eigenen Versuche auf ihre Stichhaltigkeit prüft. Für den auffälligen Mißerfolg Görners mit Trink-, Bade- und Inhalationskuren — gegenüber den glänzenden Resultaten seines Chefs in der Teplitzer Emanationskammer — kann es doch wohl nur die Erklärung geben, daß irgend ein Fehler in der Dosierung oder in der Applikationsweise oder sonst in der Methodik vorhanden gewesen sein muß.

Ueber eine größere Versuchsreihe bei den verschiedenen Formen der chronischen Gelenkerkrankungen berichtet neuerdings Justus Leidner. Er gruppiert seine Patienten nach der Einteilung von Hoffa und Wollenberg in Fälle von sekundär chronischem Gelenkrheumatismus (7 Patienten), von Polyarthritis chronica progressiva, und zwar exsudative Form (19 Patienten), trockene Form (4 Fälle), endlich von Arthritis deformans (2 Fälle). Er arbeitete mit Trink- und Emanationskuren. Seine Beobachtungen umfassen etwa ½ Jahr. Das zur Verwendung gelangte Emanationswasser, das von Brambach nach Bad

Elster transportiert wurde, hatte einen durchschnittlichen Gehalt von 1400 bis 1500 M.-E. im Liter. Die Trinkkur wurde so vorgenommen, daß täglich 5 mal 200 ccm nach den Mahlzeiten langsam in kleinen Schlucken getrunken wurden. Zu Inhalationszwecken stand ein Emanatorium mit 7—9 M.-E. im Liter Luft zur Verfügung, in welchem zweistündige Sitzungen, und zwar durchschnittlich 36 auf die Kur, abgehalten wurden.

Die Resultate waren folgende: Von den sieben Fällen des sekundär chronischen Gelenkrheumatismus wurden 5 erheblich gebessert, 2 gebessert (Aetiologie bei diesen beiden: Gonorrhoe und Scharlach), von den 19 Fällen Polyarthritis chron. progr. exsud. wurden 13 erheblich gebessert, 4 gebessert und zwei ungebessert entlassen. Letztere beiden Fälle zeigten Schwellungen, Deformierungen und große Schmerzen in fast allen Gelenken, waren also sehr schwere Fälle, bei denen auch Injektionen löslicher Radiumsalze von 2000 M.-E. pro dosi außer der Emanationszufuhr erfolglos blieben. Von den vier Fällen der Polyarthritis chron. progr. sicca. wurden 3 gebessert, 1 versagte und auch Radiuminjektionen konnten nicht helfen. Die Arthritis deformans bestand beide Male im Hüftgelenk (malum coxae senile) bei Frauen. Besserungen geringen Grades wurden erzielt.

Besonders große Dosen werden an der Wiener 1. med. Klinik nach den Berichten von v. Noorden, Falta, Freund u. a. verabreicht, und zwar werden im Anfang in den meisten Fällen 22 M.-E. pro Liter im Emanatorium inhaliert und wird bei Ausbleiben eines Erfolges auf 110 und 220 M.-E., in sehr schweren Fällen sogar bis zu 1200 M.-E. pro Liter emporgestiegen; hierbei wurden oft noch in solchen Fällen gute Erfolge erzielt, bei denen mit geringen Dosen nichts auszurichten war.

v. Noorden empfiehlt aber, für therapeutische Zwecke nicht über 500 M.-E. pro Liter zu geben. Die Inhalation bringen genannte Autoren besonders bei der exsudativen Form der Polyarthritis chronica in Anwendung, und zwar bei den schwereren Formen, bei leichteren wird eine Trinkkur verordnet.

Bei der trockenen Form kann man ebenfalls zunächst die Trinkkur allein versuchen, muß aber evtl. zur Emanationsbehandlung übergehen.

Bei der Trinkkur werden Dosen bis zu 3 mal 5000 und 3 mal 10 000, in einzelnen Fällen sogar 3 mal 30 000 M.-E. in ansteigender Dosis verabreicht.

Die Emanationsmengen, die die bisher meist angewendeten Dosen um das Zehn- bis Zweihundertfache übertreffen, wurden in langstündigen Sitzungen angewandt und der Patient nach den verschiedenen Richtungen hin einer genauen Kontrolle unterzogen. Nach anfänglicher Hyperleukozytose mit leichter Vermehrung der mononukleären Formen, die sogar auch bei primär pathologischen Leukozytosen auftrat, erfolgt eine rasche Herabsetzung der Zahl der weißen Blutkörperchen, bei bestehender Hypereosinophilie wurde unter dem Einflusse der Emanation oft sogar noch eine Steigerung der eosinophilen Zellen beobachtet.

Subakuter Gelenkrheumatismus reagierte schon auf kleinere Dosen sehr schnell, besonders wenn die kleinen Gelenke befallen waren; dasselbe gilt für den chronischen Gelenkrheumatismus.

Die neuritischen Formen des Rheumatismus bieten ebenfalls bei angemessener, besonders vorsichtiger Dosierung eine günstige Prognose. Besondere Vorsicht ist deshalb geboten, weil eventuell sehr heftige Reaktionen eintreten.

Zu diesen Fällen kann vielleicht das Krankheitsbild der Polyneuralgie gezählt werden, womit Falta und Freund eine Gruppe von Patienten abgrenzen, die an ziehenden Schmerzen in den Gelenken oder der Muskulatur, Empfindlichkeit gegen Kälteeinflüsse, bisweilen Steifigkeit der Gliedmaßen, besonders des Morgens, akuten oder chronischen Myalgien oder leichten Gelenkveränderungen, schmerzhaften Nervendruckpunkten usw. leiden. In diesen Fällen, deren 12 zur Beobachtung standen, versagte die Emanationsbehandlung. Es stimmt dies überein mit den in der Literatur öfter bekundeten Beobachtungen (v. Noorden, Gudzent, Jansen), daß die Neurasthenie in ihren mannigfachen Formen schwer zugänglich oder ganz unzugänglich ist; in den Fällen von Polyneuralgie spielt sicher die nervöse Komponente die Rolle der Ergänzung zu der rheumatischen.

Im allgemeinen ist bezüglich des Gelenkrheumatismus die Prognose über den Erfolg der Inhalations- oder der Trinkkur oder der Kombination beider nicht sicher zu stellen. Günstig

ist die Prognose im allgemeinen bei dem kindlichen Rheumatismus sowie bei frischen Fällen primär oder sekundär chronischer Art. Weniger günstig ist die Prognose bei Befallensein der großen Gelenke, bei unverschieblichen Exsudaten und noch ungünstiger bei schweren anatomischen Veränderungen des Knochens und des Knorpels sowie der Gelenkkapsel. Aber auch in diesen Fällen ist durch die Verabreichung sehr hoher Dosen, die von der Wien. 1. med. Klinik inauguriert worden ist, ein immerhin befriedigendes Resultat zu erwarten.

Bei den trockenen Formen, die sich vielfach auf einzelne große Gelenke beschränken, sind die Schmerzen besonders quälend; hier kann die Emanationstherapie erheblichen Segen stiften durch Beseitigung oder Linderung der oft enormen Schmerzhaftigkeit, wenngleich die trockene Form noch mehr zu destruktiven Veränderungen neigt und deshalb an sich eine ungünstigere Prognose bietet als die exsudative Form.

Ueber die Behandlung der rheumatischen Erkrankungen mit Thorium X liegen vorläufig noch wenige Mitteilungen in der Literatur vor, vielmehr hat man dieses Element wegen seiner Organotropie zum haematopoetischen System vorwiegend bei Blutkrankheiten angewandt. Doch berechtigen die vorliegenden Mitteilungen zu der Annahme, daß von der Thoriumbehandlung gleich günstige Erfolge zu erwarten sind wie von der Radiumanwendung.

Gudzent ist allerdings der Ansicht, daß die therapeutischen Wirkungen bei Rheumatismus und bei innerlicher Anwendung hinter denen des Radiums zurückbleiben. Anderseits teilt Laqueur mit, daß er bei chronischen Gelenkaffektionen, auch bei Arthritis gonorrhoica mit der Thoriumbehandlung befriedigende Resultate erzielte, ohne jemals nachteilige Folgen zu beobachten.

Gudzent ließ bei Rheumatikern Thorium X aus Apparaten inhalieren, die pro Sekunde 500 M.-E. gaben; das Resultat war wesentliche Besserung. Zwei andere Patienten inhalierten aus einem Apparat, der pro Sekunde 9000 M.-E. lieferte; ein Patient zeigte Reaktion und Besserung, der andere verhielt sich refraktär. Ferner verordnete er Trinkkuren von 3000 bis 10 000

M.-E. pro Tag bei 10 Patienten, davon bei 7 ohne Reaktion und ohne Erfolg. Intravenöse Injektionen kleiner Dosen und großer Dosen zeitigten therapeutische Wirkungen. Bei ersteren fehlten unangenehme Nebenerscheinungen, die bei letzteren in bedrohlicher Weise in den Vordergrund traten. Kleine Dosen rufen Leukozytose hervor, größere Dosen (entsprechend 1 mg Radium) Leukozytose mit Vermehrung der polynukleären Zellen und Verminderung der Lymphozyten.

In der Berliner Medizinischen Gesellschaft am 25. Juni 1913 berichtet Görges über Mesothoriumbehandlung gichtischer und nicht akuter rheumatischer Leiden. Er applizierte Kompressen auf die Dauer von 1—2 Stunden und ließ aus einem Radiumthor-Sauerstoff-Inhalierapparat inhalieren. Die Erfolge waren gut.

In größerem Umfange wurde Thorium X von Falta, Krieser und Zehner angewendet. Sie verwandten das Thorium X in Form der Trinkkur und verabreichten täglich 50 000 bis 100 000 M.-E. Für subkutane bezw. intramuskuläre Injektion gelangten Dosen von 15 000 bis 800 000 M.-E. zur Anwendung; für die hohen Dosen kamen natürlich nur besonders ausgewählte Fälle in Betracht. Das Ergebnis war folgendes: Von 12 Fällen von chronischem Gelenkrheumatismus zeigten 3 eine erhebliche, einer eine eklatante Besserung. Ein Fall von sekundär chronischem Gelenkrheumatismus verhielt sich dem Thorium gegenüber indifferent und wurde späterhin durch Radium wesentlich gebessert.

Ebenso rühmt Bickel den günstigen Effekt der Thorium X-Behandlung des chronischen Gelenkrheumatismus und der Arthritis deformans bei konsequenter Durchführung. Er empfiehlt eine steigende Dosierung bis zu 50 000 M.-E. pro Tag. Auch bei Bechterewscher Krankheit wurden Besserungen beobachtet.

Auch das Aktinium ist bei rheumatischen Erkrankungen noch verhältnismäßig wenig angewandt worden. Es liegt das wohl vorwiegend an der Schwierigkeit, ausreichende Mengen des Elements zu beschaffen. Wir finden nur von Lazarus eine Notiz, laut der das Aktinium X subkutan in Dosen von 30 000 M.-E. in 10 ccm physiologischer Kochsalzlösung oder als Trinkkur in

Dosen von dreimal täglich 5000 bis 30 000 M.-E. auch bei chronischem Gelenkrheumatismus und Gicht angewandt wurde, wobei er deutliche Reaktionserscheinungen und nach deren Abklingen Nachlaß der Schmerzen und Abschwellen der Gelenke beobachtete.

Stein wandte aktiniumhaltige Kompressen, Radiofirm-Kompressen von Leopold Markus, Berlin, von einer Aktivität von etwa 250 M.-E. bei gichtischen und rheumatischen sowie neuralgischen Erkrankungen, nervösem Kopfschmerz, Ohrensausen, chronischen Bronchialaffektionen usw. mit gutem Erfolge an.

Während also die günstigen therapeutischen Einwirkungen des Radiums auf die rheumatischen Erkrankungen von zahlreichen Autoren beobachtet und in einer umfangreichen Literatur niedergelegt wurden, stehen umfassende Untersuchungen mit Thorium X und Aktinium noch aus, und wenn auch die bisherigen Versuche zu weitgehenden Hoffnungen berechtigen, so muß doch bei der Anwendung dieser Elemente bis auf weiteres die neuen therapeutischen Agentien gegenüber stets zu beachtende Vorsicht in der Indikationsstellung, Dosierung und Applikationsweise beobachtet werden.

3. Gicht.

Die Behandlung der Gicht mit Radium bietet eine gleich günstige Prognose wie die der rheumatischen Erkrankungen. Auch bei der Gicht läßt sich dieselbe Regel beobachten, die wir bereits bei den Rheumatismen angeführt hatten, nämlich daß die Aussichten auf einen guten therapeutischen Erfolg um so größer sind, je früher die Gichtiker zur Behandlung kommen, je jünger die Krankheitserscheinungen und je geringer die Veränderungen der erkrankten Gelenke sind. Veraltete Fälle mit schweren Arthropathien, Wucherungen der Knorpel und der Kapsel, wie sie besonders als Uebergangsformen zur deformierenden Gelenkentzündung vorkommen, bieten von vornherein eine weniger günstige Prognose, können jedoch, wenn man nicht zu hohe Ansprüche stellt, hinsichtlich der Schwellungen und vor allem der Schmerzhaftigkeit immerhin erheblich gebessert werden.

Ueber 28 Gichtiker, die in der Charité behandelt wurden, berichtet His; es blieben 4 ungebessert, während 24 sehr günstig

beeinflußt wurden und lange Zeit nach Beendigung der Kur frei von Beschwerden blieben.

Bei 18 Patienten wurde der Harnsäuregehalt des Blutes kontrolliert und bei 15 festgestellt, daß innerhalb weniger Wochen unter der Emanationsbehandlung die Harnsäure aus dem Blute verschwand. In einem Falle, der noch dazu besonders schwer war, genügte sogar bereits eine 14tägige Trinkkur, um das Blut harnsäurefrei zu machen. Allerdings muß hervorgehoben werden, daß außer der Radiumbehandlung, die in den verschiedenen Applikationsweisen vorgenommen wurde, alle bisher bekannten therapeutischen Faktoren gleichzeitig zur Anwendung gelangten, ja daß auch medikamentös (Colchicum, Atophan) vorgegangen wurde und zwar in denjenigen Fällen, wo während der Behandlung Gichtanfälle auftraten.

Daß sich gewisse Gichtanfälle dem Radium gegenüber refraktär verhalten, kann nicht weiter überraschen, da wir wissen, daß jede therapeutische Methode ihre Versager aufzuweisen hat. Dagegen ist die Beziehung der Emanation zur Harnsäure und wiederum die Beziehung der Harnsäure zur Gicht recht widerspruchsvoll und bedarf dringend einer weiteren Klärung; auf die bestehenden Kontroversen sind wir bereits früher eingegangen.

Des weiteren berichtet Gudzent über 100 Fälle von Gicht, die mit Inhalation im 2—4 M.-E.-Emanatorium behandelt wurden. Es wurde ebenfalls der Harnsäuregehalt des Blutes nach der Methode von Krüger-Schmidt bestimmt. Von 50 Patienten verloren 37 die Blutharnsäure, und zwar 32 nach 24 zweistündigen Sitzungen im Emanatorium, 5 Patienten nach 36 Sitzungen; 13 Patienten blieben hinsichtlich des Harnsäuregehaltes erfolglos.

Die Reaktion stellte sich bei einer Reihe von Patienten in der ersten und zweiten Woche ein, bei anderen später, ja noch bis in die vierte Woche hinein. Sie trat in Form von Gichtanfällen auf und zwar auch in solchen Fällen, bei denen die Anfälle vorher jahrelang sistiert hatten. In der Regel machten sich die subjektiven und objektiven Besserungen in etwa 3 bis 4 Wochen bemerkbar und die Blutharnsäure verschwand. In zwei Fällen kam es trotz des Verschwindens der Blutharnsäure wiederum zu Gichtanfällen, und zwar im Anschluß an ein leichtes

Trauma. Zur Beseitigung der als Reaktion auftretenden Gichtanfälle empfiehlt Gudzent Colchicum und Atophan.

Gudzent gibt der Inhalationsmethode im Emanatorium mit etwa 4 M.-E. pro Liter bei weitem den Vorzug vor der Trinkkur; wenn der Erfolg der Inhalation nicht befriedigend war, so konnte durch die Injektion von Radiumsalzen eine weitere Besserung in manchen Fällen erzielt werden.

Auch das Verschwinden von Gichtknoten, speziell der Ohrtophi wurde entsprechend den Experimenten von Fofanow beobachtet. Endlich kamen auch Fälle von larvierter Gicht zur Beobachtung, deren Symptomenkomplex in Myalgien einzelner Muskelgruppen und Neuralgien in verschiedenen Bezirken, in symmetrischer Entzündung der kleinen Gelenke bestand und mit einem erhöhten Harnsäuregehalt des Blutes einherging. Auch solche Fälle wurden günstig beeinflußt. Dagegen erblickt Gudzent in erheblichen Ablagerungen von Harnsäure und schweren arthritischen Veränderungen im allgemeinen geradezu eine Kontraindikation, da nach seinen Erfahrungen in diesen Fällen wenig auszurichten sei und das Befinden durch starke Reaktionsbeschwerden erheblich gestört werden kann.

Mesernitzky stellte 158 Fälle von Gicht zusammen, bei denen er Radiumemanation angewandt hatte, er erzielte Heilung in ca. 28 % der Fälle, Besserung in 13 %, bei 43,5 % blieb der Zustand stationär, bei 14,5 % trat Verschlimmerung ein. Er wandte die Trinkkur an, begann mit kleinen Dosen und steigerte diese allmählich und zwar nach folgendem Modus: Anfangsdosis: 3—4 mal täglich nach dem Essen 300 bis 1000 Mache-Einheiten, am 2. Tage bis 2000, am 3. Tage bis 5000, am 4. Tage bis 10 000, im weiteren Verlauf bis zu 25 000 M.-E. Behandlungsdauer 6—12 Wochen.

Im übrigen haben sämtliche Autoren (mit vereinzelten Ausnahmen wie Görner), die wir in dem Abschnitt über Gelenkrheumatismus angeführt haben, auch bei Gichtikern gute Erfolge erzielt, so daß es sich erübrigt, hierauf im einzelnen nochmals einzugehen.

Der Trinkkur bediente sich Hans Jansen bei 11 Fällen von Gicht und erzielte bei 5 Patienten, von denen gleichzeitig einer mit Radiogenschlamm und zwei mit Mineralwasser behan-

delt wurden, ein sehr befriedigendes Resultat. Nur bei zwei Fällen war das Resultat eher negativ, und zwar der eine ein Arthritiker mit außerordentlich inveterierter Gelenkaffektion, bei dem zweiten stand die Hypochondrie im Vordergrunde. Bei neun Fällen wurde eine meist nicht nur sehr heftige Reaktion, in einem Falle eine Temperatursteigerung beobachtet.

F a l t a und v. N o o r d e n konnten bei Arthritis deformans mit der Emanationsbehandlung keinen Erfolg erzielen, wohl aber in einem Falle von Wirbelsäulensteifigkeit (B e c h t e r e w scher Erkrankung). Andere Autoren sahen auch bei Arthritis deformans günstige Erfolge, zum mindesten Besserung der Schmerzhaftigkeit.

Die T h o r i u m - B e h a n d l u n g der Gicht ist noch wenig erprobt. Wir finden einen Bericht von F a l t a über einen Fall von schwerer Gicht, dem er dreimal täglich je 30 000 M.-E. Thorium X innerlich gab; es besserte sich der Zustand auffallend, die Gichttophi öffneten sich bezw. verschwanden zum größten Teil, was Falta auf den Einfluß des Thorium X auf die Harnsäure zurückführt. Eine eingehende Prüfung dieser Therapie ist dringend wünschenswert.

VII. Kapitel.

Verschiedene Indikationen.

Wir wollen im Folgenden auf einige Indikationsgebiete zu sprechen kommen, die zwar nicht in direktem Zusammenhange mit den vorstehend geschilderten Krankheitsbildern stehen, deren Betrachtung aber an dieser Stelle des Buches am besten placiert zu sein scheint.

1. Harnsaure Diathese.

Armstrong berichtet über 165 „wirklich schwere Fälle von harnsaurer Diathese, welche jahrelang der Behandlung mit schwach aktiven Trink-, Bade- und Inhalationspräparaten gegenüber sich passiv oder refraktär verhielten, also zu jenen Fällen gehören, welche von anderer Seite als Kontraindikation der Radiumtherapie bezeichnet werden". Der Autor hat diese Fälle „stets gebessert, wenigstens soweit, als das klinische Bild eine Beurteilung gestattet".

Dagegen sagt v. Noorden, daß die bisherigen Erfahrungen nicht dazu ermutigen, die radioaktive Therapie bei der sog. Nierengicht, d. h. bei harnsauren Konkrementen anzuwenden. Der vermehrte Andrang von Harnsäure zu den Nieren bildet sogar eine Kontraindikation. Jedenfalls müssen reichliche Mengen von Alkali gleichzeitig gegeben werden, dies umsomehr, als der Urin bei Einwirkung von Radiumemanation auch die Tendenz zu stark saurer Reaktion zeigt.

2. Diabetes mellitus.

Eingehende Untersuchungen über den Einfluß der Radioelemente auf den Kohlenhydratstoffwechsel und damit auf die Zuckerkrankheit liegen noch nicht vor. Nach den Versuchen von Kikkoji und Bernstein, die eine Steigerung des Gaswechsels mit einer Erhöhung des Respirationsquotienten fanden,

scheint allerdings die Oxydation des Zuckermoleküls gesteigert zu sein. Andere theoretische Hinweise auf einen möglichen Erfolg sind in der Aktivierung gewisser Fermente unter dem Einflusse der Emanation gegeben. Ob freilich das assimilatorische bezw. das glykolytische Ferment aktiviert wird, ist noch nicht festgestellt worden.

Der eine von uns (Lungwitz) hat die Stoffwechselstörung bei der Zuckerkrankheit speziell studiert und seine Ansichten dahin zusammengefaßt, daß im Normalzustande die Assimilation des Zuckermoleküls in unmittelbarem Zusammenhange mit der Resorption bereits in der Darmwandung stattfindet, und daß die Leukozyten und Lymphozyten die eigentlichen Assimilationsorgane sind, von deren Funktionstüchtigkeit es abhängt, ob das Zuckermolekül als arteigenes Material im Organismus verankert und verwertet wird oder in ungebundenem, also unassimiliertem Zustande in den Säftekreislauf gelangt und durch den Harn als Fremdkörper ausgeschieden wird, wobei es während des Kreisens des Zuckers im Organismus zu den pathologischen Erscheinungen des diabetischen Symptomenkomplexes im Sinne eines Circulus vitiosus kommt. Die Funktionstätigkeit der Lymphozyten und Leukozyten als Assimilationsorgane des Kohlenhydrats ist abhängig von analogen fermentativen Vorgängen, wie wir sie bei der Uebertragung des Sauerstoffs auf das Nährmaterial der Zelle, bei der Proteolyse, der Lipolyse und anderen intimen Stoffwechselvorgängen anzunehmen berechtigt sind. Nach dieser Anschauung, die durch die experimentellen, physiologischen und klinischen Beobachtungen aufs beste gestützt wird, steht also im Vordergunde ein Mangel des Assimilationsfermentes, nicht so sehr des glykolytischen Fermentes, sowie eine Funktionsschwäche der Lymphozyten und Leukozyten; gelingt es, das Assimilationsferment zu aktivieren bezw. die assimilatorische Kraft der genannten Zellen zu erhöhen, evtl. durch Vermehrung der Zahl der an der Darmwandung während der Resorption neugebildeten oder aus den übrigen Regionen des Körpers hinzueilenden Zellen (Leukozytose durch Radium- oder Thoriumdarreichung!), so ist die Möglichkeit einer kausalen therapeutischen Beeinflussung der Zuckerkrankheit gegeben. (Vergl. „Moderne Medizin", 1913, Heft 9.)

Es liegt nahe, Versuche nach diesen beiden Richtungen hin anzustellen, also einmal auf die Fähigkeit der Emanation, Fermente zu aktivieren, zurückzugreifen, anderseits an eine direkte Einwirkung der inhalierten oder in diesem Falle wohl besser getrunkenen Emanation auf die Darmwandung und die innerhalb desselben verlaufenden Assimilationsprozesse zu denken, evtl. unter Berücksichtigung der direkten Strahlenwirkung. Da die Leukozytose bei kleineren Dosen eintritt, ist an eine fortgesetzte Darreichung in dosi refracta zu denken, um eine anhaltende Vermehrung der weißen Blutkörperchen und der Lymphzellen zu erzielen.

Daß überhaupt eine Beeinflussung des Stoffwechsels, wie durch Respirationsversuche festgestellt ist, stattfindet, läßt es a priori als möglich erscheinen, daß auch die bei der Zuckerkrankheit vorliegende Herabsetzung des Stoffwechsels behoben, bezw. die Desorganisation heilsam beeinflußt werden kann.

In der Literatur finden wir einen Bericht von Lippert, der in einem Falle von Diabetes nach Radiumbehandlung Zuckerfreiheit des Urins erzielt haben will; es handelte sich um einen Patienten, der 8 Jahre hindurch schwer zuckerkrank war, nach der Radiumbehandlung aber ohne Innehaltung einer kohlenhydratfreien Diät bis zur Zeit der Veröffentlichung, nämlich seit einem halben Jahre zuckerfrei blieb.

Reicher hat bei dreien von 5 Diabetikern nach einstündigem Aufenthalt im Radiogenemanatorium ein Herabgehen des Blutzuckers um die Hälfte konstatiert. Gibt man einem gesunden Menschen 100 g Traubenzucker, so wird der höchste Anstieg des Blutzuckers im Emanatorium bereits nach einer halben Stunde, außerhalb desselben erst in einer Stunde erreicht. Nach diesen Experimenten scheint in der Tat ein erheblicher Einfluß der Emanation auf das Verhalten des Zuckers im Blute stattzufinden und die Hoffnung nicht unberechtigt zu sein, daß unter geeigneten Bedingungen auch der Diabetes in das Indikationsgebiet der Radiumbehandlung einzureihen sein wird.

Weidenbaum berichtet auf dem Deutschen Kongreß für innere Medizin, Wiesbaden 1912, daß nach seinen Beobach-

tungen eine vorsichtige Anwendung des Radiums als Prophylaktikum gegen Diabetes zu empfehlen sei, besonders in denjenigen Fällen, die mit harnsaurer Diathese beginnen und später in Diabetes übergehen. Er verordnete eine kombinierte Trink-Inhalierkur, seine Patienten verweilten täglich ½ bis 1 Stunde im Emanatorium von 36 cbm Rauminhalt mit 12,5 M.-E. pro Luftliter. Dazu erhielten die Kranken zwei- bis dreimal täglich nach den Hauptmahlzeiten je 200 g Wasser aus einem Aktivator, der täglich 5 Liter zu je 10 000 M.-E. lieferte, so daß insgesamt etwa 4000 bis 5000 M.-E. zugeführt wurden.

Etwa die gleiche Dosis verabreichte seinen Diabetikern Armstrong in 3 bis 4 Einzeldosen pro Tag; außerdem ließ er sie zweimal täglich je eine halbe Stunde in einem Emanatorium inhalieren, das bis zu 10 M.-E. pro Liter Luft enthielt. Seinem Bericht über 25 Fälle von Diabetes, erstattet auf dem 28. Deutschen Kongreß für innere Medizin, Wiesbaden 1911, entnehmen wir folgendes:

„Das Maximum des im 24stündigen Harn befindlichen Zuckers betrug beinahe 8 %, der Durchschnittswert sämtlicher Personen immerhin noch 4 %. Zehn hatten außerdem schwere Azidose, d. h. durchschnittlich 3 g Azeton in 24 Stunden, auch Azetessigsäure, die aber quantitativ nicht bestimmt wurde." Die Radiumdosen wurden auf den gefüllten Magen verabreicht, also „nach den Mahlzeiten bei sonst vorschriftsmäßiger Diät, die ich durch Gewährung von 50 bis 100 g Kohlenhydraten nach Tunlichkeit erleichterte. Medikamente wurden nicht gegeben, der Stoffwechsel regelmäßig kontrolliert . . . . . Der Zuckergehalt ging vom Beginne der zweiten Woche an stark zurück und zwar im Durchschnitt von 4 % bis auf 1,4 %, um sodann auf dieser Höhe hartnäckig zu verharren. In 9 von den 10 Azidosen verschwand Azeton und die Azetessigsäure spätestens nach der zweiten Woche vollständig; nur eine einzige ältere Frau, welche vorher 6 g Azeton hatte, ging nur bis auf 2 g herab. Zweifellos verlor keiner der Kranken weiter an Gewicht, einige nahmen sogar 1 bis 3 Pfund zu."

Im Anschluß hieran teilt Armstrong noch mit, daß in weiteren 36 Fällen von Glykosurie durch Behandlung mit 2000 bis 3000 M.-E. pro Tag „ein praktisch als total zu bezeichnendes

Verschwinden des Harnzuckers" zu beobachten war. Es ist nicht klar, warum der Autor diese Fälle von Glykosurie von den Diabetesfällen absondert und ob erstere pathogenetisch anders geartet waren wie die letzteren.

Allerdings ergaben die Untersuchungen von Poulssen, der trinken ließ, und v. Noorden, der inhalieren ließ, keine ermutigenden Resultate; sie untersuchten die Zuckerausscheidung, vielleicht ist es aber empfehlenswerter, den Blutzuckergehalt zu kontrollieren. Bei Diabetes wurde durch Radiumtherapie die Zuckerproduktion eher angeregt statt gedämpft, besonders in schweren Fällen, weshalb die Zuckerausscheidung und die Azetonurie anstiegen. Bei diabetischer Neuritis sah v. Noorden in 5 Fällen gute Erfolge.

3. Fettsucht.

Die experimentellen Voraussetzungen zur Beeinflussung der endogenen Form der Fettsucht sind durch die Untersuchungen von Silbergleit, Kikkoji und Bernstein gegeben, die bei ihren Respirationsversuchen eine Erhöhung des Grundumsatzes konstatierten, d. h. derjenigen Kalorienmenge, die der Organismus in völliger Ruhe umsetzt. Nun ist bei der endogenen Fettsucht der Energieverbrauch abnorm tief eingestellt, der Ruhewert für die Bestreitung der physiologischen Funktionen wie Herztätigkeit, Atemarbeit, Drüsenfunktionen, Wärmeregulierung etc. abnorm niedrig. Eine Erhöhung des Stoffverbrauches würde naturgemäß mit einer Herabsetzung des Körpergewichtes einhergehen. Ob diese theoretische Voraussetzung praktisch zutrifft, ist bisher noch nicht eruiert worden.

4. Arteriosklerose.

Plesch und Loewy fanden eine Herabsetzung des Blutdruckes durch Inhalation von Radiumemanation, ferner stellten Plesch und Karczag eine Senkung des Blutdruckes nach innerlicher Darreichung von Thorium X fest, in einzelnen Fällen allerdings eine Blutdrucksteigerung (siehe Seite 194). Hiermit wären die experimentellen Voraussetzungen für eine therapeutische Verwendung dieser Elemente bei der Arteriosklerose, wie auch bei Herz- und Gefäßkrank-

heiten gegeben, zumal sowohl Radiumemanation wie Thorium X erheblich diuretisch wirken. Die blutdruckerniedrigende Wirkung des Thorium X äußert sich in Nachlassen von Kopfschmerzen, Kopfdruck, Schwindel, Kongestionserscheinungen. Plesch berichtet über Fälle von Asystolie, Stauungszuständen, kardialer Dyspnoe und Angina pectoris, bei denen Thorium X noch dann günstige Resultate gezeitigt hat, als andere Mittel schwach oder gar nicht wirkten. Jedenfalls scheint das Thorium X eine sehr günstige Wirkung auf die Herztätigkeit auszuüben, so daß insbesondere bei Kreislaufstörungen mit erhöhtem Blutdruck, wie sie namentlich bei Arteriosklerose vorkommen, diese neue Therapie versucht zu werden verdient. Man muß indes darauf achten, daß keine akuten infektiösen Prozesse am Herzen vorliegen oder eine schwerere Endokarditis, Perikarditis oder Debilitas cordis bestehen, Zustände, die als Kontraindikationen zu betrachten sind (v. Noorden).

5. Nephritis.

Auf dem 28. Deutschen Kongreß für innere Medizin zu Wiesbaden (19. April 1911) berichtete Armstrong über zahlreiche Fälle verschiedener Krankheitskategorien, die er erfolgreich mit Radium behandelte, darunter auch über 24 Fälle von Nephritis chronica parenchymatosa mit reichlicher Diurese und geringer Eiweißausscheidung, fast unablässigem Brechreiz, häufigem Erbrechen, Uebelkeits- und Schwächegefühl und starkem Kräfteverfall, ferner über 9 Fälle mit stark verringerter Diurese und hoher Albuminurie. Durch Darreichung von Radiumemanation 4500 M.-E. pro Tag per os, ferner durch Inhalation während einer Zeit von 4 bis 6 Wochen wurde das Krankheitsbild in allen Fällen wesentlich gebessert, so daß die Beschaffenheit des Harns normal oder nahezu normal wurde, das Körpergewicht in geringem Grade zunahm und das physische und psychische Befinden der Patienten durchweg stark gehoben wurde.

Diese immerhin überraschenden Mitteilungen stießen verschiedentlich auf Widerspruch. Besonders Löwenthal hält eine Beeinflussung der chronischen Nephritis für unmöglich, ja von einzelnen Autoren wird die chronische Nephritis geradezu als Kontraindikation betrachtet, zumal von Nagelschmidt

und einigen anderen Eiweißausscheidung und Nierenreizung bei Nierengesunden unter Emanationsdarreichung beobachtet wurde. Auch ist es zurzeit nicht möglich, eine Erklärung für den von Armstrong behaupteten heilsamen Einfluß der Emanation auf die Schrumpfniere zu geben, die sich sonst allen anderen therapeutischen Faktoren gegenüber vollständig refraktär verhält; ob die Aktivierung der proteolytischen Fermente ausreicht, um die Herabsetzung der Albuminurie, evtl. sogar auf Grund einer direkten Wirkung auf die Nierenepithelien, begreiflich zu machen, erscheint zum mindesten fraglich. Immerhin aber dürfen wir nicht versäumen, die Angaben Armstrongs, die durch Sachs bestätigt werden, aufs eingehendste nachzuprüfen.

6. Obstipation.

Eine Anregung der Darmtätigkeit durch Emanation wurde von verschiedenen Autoren beobachtet (Eichholz, Kemen, v. Neusser, Grin u. a.). Armstrong weist darauf hin, daß es sich hierbei nicht um eine wirklich purgative Wirkung im Sinne der Wirkung eines Abführmittels, sondern um eine Erhöhung der peristaltischen Bewegung handelt.

Eichholz empfiehlt Bleibeklystiere von 200 g Wasser und 1000 bis 2000 M.-E.

7. Katarrhe des Respirationstraktus.

Ausgehend von dem Gedanken, daß Emanation und ihre Zerfallsprodukte auf Schleimhäute stärkeren Einfluß ausüben müßten als auf die äußere Haut, untersuchte Bulling den Einfluß der Emanationsbehandlung bei 112 Patienten, die vorwiegend an Krankheiten des Respirationstraktus litten, und zwar ließ er Emanationswasser, gemischt mit destilliertem Wasser oder mit Sole, fein zerstäubt inhalieren. Dem Emanationsträger, also dem destillierten Wasser oder der Sole, waren 10 000 Einheiten zugesetzt. Es wurden behandelt: 4 Katarrhe der Oberkieferhöhlen, 2 der Stirnhöhlen, 6 Fälle von Asthma nervosum, 67 Fälle von chronischer Bronchitis und 33 Fälle von Rhinitis pharyngolaryngea chronica. Der Erfolg war in allen Fällen ein vorzüglicher. Die subjektiven und objektiven Er-

scheinungen schwanden ganz bei Oberkiefer- und Stirnhöhlenkatarrh. Der Erfolg bei Asthma nervosum ist wegen der zu kurzen Dauer der Behandlung mit Sicherheit nicht festzustellen. Von den 67 chronischen Bronchialkatarrhen hatten 56 sehr guten Erfolg, 11 wesentliche Besserung zu verzeichnen. Von der letzten Krankenkategorie blieben 6 mit atrophischer Schleimhaut erfolglos, 19 hatten guten, 8 einen befriedigenden Erfolg. Auffallend war die Steigerung und Erleichterung der Expektoration sowie die Hebung des Allgemeinbefindens. Es sei hervorgehoben, daß Bulling mit den Radiogenemanatoren arbeitete, und daß somit relativ kleine Dosen Emanation angewandt wurden; möglicherweise wären die Erfolge noch besser gewesen, wenn größere Dosen verabreicht worden wären.

8. Asthma bronchiale.

7 Fälle von Astma bronchiale wurden von Falta und Freund an der Noorden'schen Klinik mit unsicherem Erfolg behandelt; es zeigte sich eine Vermehrung der bereits bestehenden Hypereosinophilie.

9. Pneumonie.

Falta und Freund berichten über drei Fälle von schwerer krupöser Pneumonie, die unter großen Dosen Emanation (Inhalation von ca. 100 M.-E. pro Luftliter bei lange fortgesetztem Aufenthalt im Emanatorium) einen verfrühten lytischen Abfall der Temperatur und eine auffallend rasche Lösung des Exsudates zeigten. Es bestand Hyperleukozytose e morbo, diese stieg im Emanatorium zunächst erheblich an, ging aber alsdann in wenigen Tagen bis zum normalen Niveau herunter. Das subjektive Befinden besserte sich auffällig.

Wenn auch auf Grund dieser drei Fälle natürlich ein irgendwie sicheres Urteil über den Einfluß der Emanation auf die Lungenentzündung nicht gefällt werden darf, so ermutigen diese Erfahrungen doch entschieden zu weiterer Prüfung.

10. Tuberkulose.

Wenn überhaupt, so muß die Radiumbehandlung tuberkulöser Lungenaffektionen mit großer Vorsicht vorgenommen

werden, da gelegentlich während der Emanationsbehandlung Haemoptoe beobachtet worden ist, vielleicht infolge der Einwirkung der Emanation auf den Füllungszustand der Blutgefäße.

Als begeisterter Anhänger der Radiumtherapie der Tuberkulose bekennt sich Bernheim; sie wird nach seinen Mitteilungen sehr günstig beeinflußt, so daß nach experimentellen und klinischen Erfahrungen noch große Erfolge erwartet werden dürfen. Bernheim hat auf Grund seiner Ansichten ein radioaktives Jodmenthol angegeben, das auch in Deutschland eingeführt worden ist, allerdings ohne sich Anhänger schaffen zu können, da von verschiedenen Seiten die absolute Wirkungslosigkeit dieses Präparates bei Tuberkulose behauptet worden ist.

Salzmann behandelte 19 tuberkulöse Patienten mit radioaktiven Kompressen und sah von dieser Therapie sowie bei Trinkkuren mit einer emanationshaltigen Eisenquelle günstige Resultate.

Diese spärlichen klinischen Mitteilungen werden ergänzt durch bakteriologische Untersuchungen, die sich auf den Einfluß des Radium und seiner Emanation auf Tuberkelbazillen erstreckten und die das Ergebnis hatten, daß die Tuberkelbazillen ganz besonders widerstandsfähig sind. Es sei hier kurz rekapituliert, daß Sueß (40 000 M.-E. Emanation), Puntoni, Max Wolff (Strahlung von 10 mg Radium, 10 000 M.-E. Emanation, Einwirkungsdauer 5—6 Tage) Tuberkelbazillenkulturen nicht beeinflußen konnten. Dagegen berichten de Szendeffy und Augustin eine starke Einwirkung des Bernheimschen radioaktiven Jodmenthols auf Tuberkelbazillen und auf den tuberkulösen Prozeß bei Meerschweinchen und Kaninchen, während sie durch Bestrahlung von Kulturen mit einfachem Radium und mit Emanation einen Einfluß nicht feststellen konnten.

Dominici und Chéron studierten die Einwirkung von Radium, das in Röhrchen eingeschlossen war, auf tiefliegende tuberkulöse Affektionen und zwar durch direkte Einführung in die (extrapulmonalen) Krankheitsherde, ohne ein besonders günstiges Resultat feststellen zu können.

Bei tuberkulösen Tumoren der Drüsen erzielten Falta, Kriser und Zehner durch Injektion von Thorium X erfreuliche Resultate (vergl. S. 287).

11. Impotenz.

Es ist sicher gestellt, daß die radioaktiven Substanzen eine wesentliche Anregung auf die Keimdrüsen und den Reflexapparat ausüben können, natürlich unter der Voraussetzung, daß dieselbe sich überhaupt noch in funktionsfähigem Zustande befinden. Besonders auffallend waren nach v. Noorden die Erfolge bei einigen Patienten mit leichtem Diabetes. Starke Trinkkuren von 30 000 bis 60 000 M.-E. Emanation, der diätetischen Behandlung folgend, scheinen die Besserung außerordentlich zu beschleunigen; die Patienten sollen zuvor zuckerfrei sein, ehe Radium angewandt wird. Nachhaltige Erfolge durch Einwirkung auf die Keimdrüsen können erst durch größere Dosen von Emanation erzielt werden, z. B. 50—80 M.-E. pro Luftliter. Ebenso ist das Thorium X von stimulierender Wirkung.

In „einigen Dutzend Fällen" von teilweiser oder kompletter Impotenz erzielte Armstrong gute Resultate.

Es mag diese Tatsache in Zusammenhang stehen mit dem im allgemeinen anregenden, die Lebensenergie (wenn man so sagen darf) steigernden Einfluß des Radiums und des Thorium X, das sich namentlich bei älteren Leuten zu erkennen gibt. Für diese Stimulation empfiehlt sich eine mehrwöchige Injektionskur sehr kleiner Dosen Radium oder Thorium X, etwa 1500 bis 2000 M.-E. täglich.

12. Zahn- und Mundkrankheiten.

Es liegen Untersuchungen von Levy vor. Er verwandte Trinkkur, Spülungen mit emanationshaltigem Wasser, Massage mit radiumhaltiger Paste, ferner Kompressen, Injektionen, Irrigationen, Bestrahlung mit Radium und Mesothorium, Inhalation, Thorium X-Trinkkur und -Spülungen sowie Kombinationen dieser Methoden. Auf diese Weise erzielte er bei folgenden Krankheitszuständen Erfolge: Psoriasis der Mundschleimhaut, Alveolar-Pyorrhoe, Lockerung der Zähne mit und ohne Eiterung, marginale Gingivitis, Leukoplakie der Zunge und des Mundes, Zahnfisteln, Stomatitis ulcerosa, während Fälle von chronisch rezidivierenden Aphthen sowie Alveolar-Pyorrhoe bei Bestrahlung sich refraktär verhielten.

Des weiteren berichtet Dautwitz über 16 Fälle von Alveolarpyorrhoe, die durch Behandlung mit Radiumemanation so günstig beeinflußt werden wie durch keine andere Therapie. Es wurden drei Wochen hindurch täglich 200 ccm eines 1 Million M.-E. enthaltenden Wassers zu Mundspülungen und zum Tränken von Wattebäuschchen angewendet, letztere wurden zwischen Wange und erkrankte Alveole auf 10—15 Minuten appliziert. Zum Spülen muß Patient einen Schluck in den Mund nehmen, damit 1—2 Minuten kräftig spülen, das Wasser einige Zeit im Munde behalten und dann noch 2—3 mal die Spülung wiederholen.

VIII. Kapitel.

Blutkrankheiten.

Zu wiederholten Malen hatten wir Gelegenheit auf die spezifische Wirkung der Emanation und des Thorium X auf das haematopoetische System hinzuweisen. Im wesentlichen kennzeichnet sich diese Wirkung in einer anfänglichen Leukozytose, die nach kürzerer oder längerer Zeit wieder abklingt. Diese Leukozytose tritt auch auf in denjenigen Fällen, bei denen an sich schon infolge der bestehenden Erkrankung eine Erhöhung der Leukozytenzahl besteht.

Bei vorsichtiger Dosierung geht die Verminderung der Leukozyten nicht über die Norm herunter, bei größeren Dosen jedoch tritt eine ausgesprochene Leukopenie mit Mononukleose ein, die sich bis zum völligen Verschwinden der weißen Blutkörperchen steigern und mit einer Vermehrung der roten Blutkörperchen einhergehen kann. Das völlige Verschwinden der Leukozyten ist experimentell bei Tieren von London, Heinecke, und anderen beobachtet worden. Die Erscheinungen der Leukopenie treten öfter bei Physikern, Aerzten oder ihrem Personal nach länger dauernder Beschäftigung mit Radium oder seinen Zerfallsprodukten auf.

Diese Eigenschaften der Emanation und des Thorium X, die Zahl der weißen Blutkörperchen nach vorübergehender Steigerung herabzusetzen, legt ihrer Verwendung für die Behandlung derjenigen Blutkrankheiten, die mit einer Hyperleukozytose einhergehen, nahe, also in erster Linie bei der myolegenen und der lymphatischen Leukämie. Bei der ausgesprochenen Organotropie der Radiumemanation und des Thorium X dürfte man auch von vornherein erwarten, daß die leukämischen Tumoren und Infiltrate, wie sie sich besonders in der

Schwellung der Leber, der Milz und der Lymphdrüsen äußern, im Sinne einer Rückbildung beeinflußt wurden.

Da ferner eine Erhöhung der Erythrozytenzahl auf Grund der spezifischen Einwirkung auf das Knochenmark beobachtet wird, ist die perniziöse Anämie ebenfalls als Indikation in Betracht zu ziehen.

Leukämie.

Soweit dabei die Radiumemanation angewandt wurde, haben sich die Erwartungen leider nicht erfüllt. Es läßt sich zwar in beiden Formen der Leukämie eine Zunahme der Leukozyten konstatieren, aber diese Steigerung wurde selbst bei wochenlang fortgesetzter Behandlung nicht von dem erwünschten Absinken der Leukozytenzahl gefolgt, gleichgiltig ob große oder kleine Dosen Emanation verabreicht wurden. Auch eine Verkleinerung der Milz oder Leber ließ sich nicht erzielen (v. Noorden). Es muß dies umsomehr überraschen, als im Tierexperiment, allerdings bei der Verabreichung vergiftender Dosen bezw. bei Radiumbestrahlung, eine außerordentlich energische Einwirkung auf die Milz berichtet worden ist.

Dagegen bietet die Behandlung der Leukämien mit Thorium X bessere Aussichten, ja Kraus ist der Ansicht, daß die Einwirkung des Thorium X eine derart günstige sei, wie sie sonst bei keinem anderen Mittel erzielt werden kann. Es treten freilich nach Aussetzen der Thoriumverabreichung Rezidive auf, die jedoch bei der wiederholten Thoriumdarreichung aufs prompteste weichen.

Von Plesch wird über einen Fall von Leukämie berichtet, der am 53. Tage nach einer Injektion von 300 000 M.-E. ein normales Blutbild zeigte.

Es liegt weiterhin eine Veröffentlichung von Grund vor, der einen Fall von lymphatischer Leukämie mit innerlicher Darreichung von 6000 elektrost. Einh. (= 6 000 000 M.-E.) innerhalb 14 Tagen in Einzeldosen von je 600 E. S. E. behandelte. Er beobachtete ebenfalls eine Verminderung der Leukozytenzahl und eine Steigerung der Zahl der Erythrocyten; er sah aber auch eine Verkleinerung des bis zur Nabelhöhe herunterreichenden Milztumors um etwa 2 cm. In zwei anderen Fällen von myelo-

gener Leukämie wurden ganz verschiedene Resultate erzielt. In dem einen sank die Leukozytenzahl von 180 000 auf 16 000 ab, stieg dann aber wieder an auf 95 000, während die Erythrozyten und der Hämoglobingehalt stark zurückgingen und die Milz rapide an Umfang abnahm; dieser Patient bekam innerhalb 4 Wochen 4800 E.-S.-E. Thorium X intravenös. Der andere Fall erhielt in 16 Tagen 3000 E.-S.-E. Thorium X subkutan, in weiteren 5 Wochen 65 000 E.-S.-E. Thorium X intravenös, ohne daß irgend eine nachhaltige Wirkung eingetreten wäre; vielmehr verhielt sich dieser Fall bis auf eine vorübergehende Absenkung der Leukozytenzahl völlig refraktär.

Nagelschmidt fand bei einem Patienten mit Leukämie 16 Stunden nach der Verabreichung von 3 Millionen M.-E. Thorium X, daß der große pralle Milztumor vorübergehend auffallend weicher wurde. Nach einer halben Stunde war er wieder hart.

Ferner liegen Versuche vor aus der v. Noordenschen Klinik von Falta, Krieser und Zehner. Zunächst untersuchten sie experimentell die Einwirkung des Thorium X und fanden z. B. bei einem Kaninchen nach 500 000 M.-E. Thorium X einen Abfall von Leukozyten von 5000 auf 400 innerhalb von 7 Tagen; die tötliche Dosis bei subkutaner Injektion liegt für das Kaninchen zwischen 0,6 bis 1,0 Millionen M.-E., für Hunde von 6—8 Kilo bei 1½ bis 2 Millionen M.-E. Das Blut erscheint nach Einverleibung von Thorium X deutlich aktiv, ebenso, und zwar besonders stark, Milz und Nebennieren. Die Sektion von mit hohen Thoriumdosen behandelten Tieren ergibt hochgradige Zerstörung der Milzpulpa und Schwund des adenoiden Gewebes, bei noch höheren Dosen hochgradige degenerative Veränderungen in den chromaffinen Zellen.

Beim Menschen wird das Thorium X nach subkutaner Einverleibung innerhalb der ersten vier Tage zu 24% durch den Stuhl und zu 4% durch den Harn ausgeschieden (Brill).

Die gen. Autoren gaben in der Regel eine tägliche Trinkdosis von 50 000 bis 100 000 M.-E. Höhere Dosen verursachen, per os gegeben, Uebelkeit oder Aufstoßen, Erbrechen, Diarrhoe. Subkutan bezw. intramuskulär wurden Dosen von 15 000 bis 800 000 M.-E., bei Leukämien sogar bis 1,2 Millionen M.-E. verabreicht. Diese Injektionen hatten des öfteren Rötung und

Schwellung oder Pigmentation der lädierten Hautstelle zur Folge, die nach einigen Tagen wieder vorübergingen; Nekrosen der Haut kamen bei mehr als 200 Injektionen nicht zur Beobachtung.

Welches waren nun die Erfolge bei Leukämie? In 6 Fällen, zwei lymphatischen und vier myeloischen Leukämien wurde die Leukozytenzahl, die zwischen 150 000 und 1 Million schwankte, nahezu bis zur normalen Grenze herabgedrückt, auch gingen die unfertigen Blutzellen prozentisch stark zurück. Die roten Blutkörperchen haben in einigen Fällen beträchtlich an Zahl zugenommen. In allen Fällen wurde die Milz bedeutend kleiner und weicher, und der Leibesumfang nahm erheblich ab, in einigen Fällen um 10—13 cm. Auch die Drüsen schmolzen ein, verkleinerten sich oder verschwanden vollkommen. In zwei Fällen von leukämischen Veränderungen des Augenhintergrundes zeigte sich ein wesentlicher Rückgang dieser Erscheinung. Dazu kam eine wesentliche Besserung des Allgemeinbefindens (in vier Fällen) sowie ein beträchtlicher Anstieg des Körpergewichtes in einigen Fällen. Bei zwei Fällen hatte vorher erfolglos eine Röntgenbehandlung stattgefunden.

Wenn auch die Autoren hervorheben, daß über die Dauer dieser überaus günstigen Erfolge noch nichts bekannt ist, so muß man doch anerkennen, daß das Thorium X in der Tat ein außerordentlich wirksames und aussichtsreiches Therapeutikum für die Behandlung der bisher aussichtslosen Leukämie darstellt, dessen weitere Prüfung aufs dringendste geboten erscheint.

v. Noorden berichtet, daß „in beginnenden Fällen von Leukämie, ferner in Fällen, wo schon starke Milzvergrößerung besteht und die Zahl der Leukozyten ½ Millionen nicht überschreitet, die Thorium X-Behandlung bisher nicht im Stich gelassen habe, daß die Resultate schneller einträten und dauerhafter seien als bei der Röntgenbehandlung und daß er jedenfalls mit großer Befriedigung feststellen könne, daß unser Rüstzeug gegen die Leukämie um eine mächtige Waffe bereichert worden sei."

In Fällen, wo auch der erythrozytische Apparat schwer geschädigt ist, wo also die Zahl und die Resistenzfähigkeit der Erythrozyten wesentlich vermindert ist, soll nach v. Noorden Thorium X nicht angewendet werden.

Bei den leukämischen Lymphdrüsen-Tumoren führte die Thorium X-Behandlung zu einer wesentlichen Verkleinerung und damit zu einer wesentlichen Verringerung der Beschwerden. Bei Lymphdrüsen-Tumoren tuberkulösen Ursprungs war der Erfolg nicht nennenswert (v. Noorden).

Ebenso sah Bickel bei Leukämie gute Resultate.

Klemperer und Hirschfeld äußern sich dagegen weniger günstig über die Thorium X-Behandlung der Leukämie. Ihr Urteil lautet folgendermaßen: „Dieselbe führt eine außerordentliche symptomatische Beeinflussung der myeloischen Form herbei, in derselben Weise, wie wir es auch bei der Röntgentherapie erfahren haben, aber eine Einwirkung auf das Wesen der Krankheit findet nicht statt und das tötliche Ende kann wohl hinausgeschoben, aber nicht verhütet werden. Bei der lymphatischen Leukämie findet ebenfalls ein symptomatischer Effekt statt, indem die Drüsenpakete sich verkleinern; aber eine wesentliche Modifikation des Krankheitsverlaufs findet nicht statt."

Perniziöse Anaemie.

Bei perniziöser Anaemie wurde zuerst von Plesch die Thorium X-Behandlung versucht, indem er 20 000 M.-E. als „Reizdosis" intravenös verabreichte. Er beobachtete eine Steigerung der roten Blutkörperchen von 340 000 auf 1 600 000 innerhalb von 2 Tagen; durch Wiederholung der Injektion waren am 13. Tage 2 270 000 Erythrozyten zu zählen.

Bickel verabreichte in einem Falle 50 000 M.-E. pro Tag innerlich in drei Dosen nach den Hauptmahlzeiten mit dem Erfolg, daß bereits nach 10 Tagen die Zahl der roten Blutkörperchen von 960 000 auf 4 610 000 und der Hämoglobingehalt von 50 % auf 90 % anstieg. Es trat ferner ein: Besserung des objektiven Befundes, Rückgang der Oedeme der großen Leber und Milzschwellung und der Herzschwäche und Schwinden der Kurzatmigkeit. Behandlungszeit 5 Wochen.

Prado Tagle fand bei perniziöser Anaemie, bei der 50 000 M.-E. Thorium X täglich in drei Portionen nach den Mahlzeiten innerlich 6 Monate lang gegeben wurden, Zunahme der roten Blutkörperchen von 1 100 000 auf 4 990 000, des Hämoglobins von 55 % auf 95 bis 100 %.

Klemperer und Hirschfeld berichten in der Therapie der Gegenwart 1913 Heft 2 über 12 Fälle von perniziöser Anaemie, die mit Thorium X behandelt wurden. Die Autoren fassen ihr Urteil in folgenden Sätzen zusammen: „Wir müssen sagen, daß wir nur einen günstigen Erfolg erzielt haben, daß wir aber in allen denjenigen Fällen, die wir nur mit Thorium X behandelt haben, nur bisweilen eine vorübergehende günstige Einwirkung auf das Blutbild konstatierten, aber kein irgendwie befriedigendes Endresultat erreicht haben. Auch die Kombination von Thorium X mit Arsen und Benzol zeigte keine Wirkungen, die wir nicht von der Arsenbehandlung allein kennen. Die Zahl derjenigen Fälle von perniziöser Anaemie, in welchen man mit intravenösen Injektionen von Thorium X in Mengen von 20 000 bis 100 000 M.-E. ausreichende Erfolge erzielte, dürfte nach den bisherigen Erfahrungen prozentualiter keine sehr große sein. Es ist kein Zweifel, daß kleine Dosen von Thorium X eine Reizwirkung auf den blutbildenden Apparat ausüben, was sich auch in manchen Fällen perniziöser Anaemie außerordentlich günstig bemerkbar macht, die Hoffnungen aber, die man nach den ersten Mitteilungen auf diese Substanz setzte, haben sich nicht erfüllt. Ob es wirklich Fälle gibt, bei denen die Reizwirkung des Thoriums der des Arsens überlegen ist, muß vorläufig dahingestellt bleiben."

Bei der perniziösen Anaemie wird man kleine bis mittlere Dosen, z. B. 50 000 M.-E. pro Tag in drei Einzeldosen nach den Hauptmahlzeiten den größeren Dosen vorziehen, weil jene eine Reizwirkung, diese eine zerstörende Wirkung entfalten. Die zerstörende Dosis, die man nach Plesch mit 1—3 000 000 M.-E. und zwar zum Zwecke einer einmaligen intravenösen Injektion verabreichen kann, wird man besonders bei der Leukämie, wo es im wesentlichen auf eine Herabsetzung der Leukozytenzahl und eine Verkleinerung der leukämischen Tumoren handelt, zur Anwendung bringen.

Unter allen Umständen ist besonders bei der intravenösen Injektion Vorsicht geboten, besonders bei den hohen Dosen, wenn auch die Maximaldosis, die Plesch mit 3—5 000 000 M.-E. bestimmt, nicht erreicht werden wird. Es sei hier von neuem an den auf der Hißschen Klinik beobachteten Vergiftungsfall mit

Thorium X und an unsere diesbezüglichen Ausführungen auf S. 183 erinnert.

Bickel berichtet neuerdings, daß seine Erfolge bei perniziöser Anaemie durchweg gute seien. Auch bei schweren, nicht perniziösen Anaemien kam Bickel zu guten Resultaten, und zwar mit der Trinkkur.

Nach den bisherigen Feststellungen scheint es nicht zweifelhaft zu sein, daß das Thorium X denselben Effekt erzielt, gleichgiltig, ob es intravenös oder subkutan oder peroral dargereicht wird. Es findet stets eine Reizung des Knochenmarkes statt, in dem sich auch das Thorium X eine Stunde nach der Injektion zu 33 % (neben Thorium A 21 %) und nach 24 Stunden zu 64 % abgelagert vorfindet (neben 75 % des mitverabreichten Radiums). Diese Reizung des Knochenmarkes kennzeichnet sich in einer Zunahme der roten Blutkörperchen und der polynukleären Zellen.

Gegenüber dem Thorium X, von dem definitive Resultate nicht vorliegen, weist v. Noorden auf die Injektion von Radiumsalzen bei perniziöser Anämie hin, die den Vorteil hätten, eine elektive Reizwirkung auf das erythropoetische System auszuüben, während ihr zerstörender Einfluß auf Erythrozyten und auf den leukoplastischen Apparat bei den in Betracht kommenden Dosen niemals erreicht wird. Man muß die Einzeldosen wahrscheinlich auf $^1/_{10}$ mg und mehr steigern.

Die das Knochenmark anregende Dosis Radium in Form von Injektionen liegt weit unterhalb der hämolytisch wirkenden Mengen, während beim Thorium X diese beiden Werte nahe beieinander liegen. Auch ist der Einfluß auf den leukozytischen Apparat nicht so stark und nicht so gefährlich wie beim Thorium X.

v. Noorden warnt davor, die Thorium X-Therapie bei perniziöser Anämie in den Fällen anzuwenden, wo einerseits das Blutbild zeigt, daß die Regenerationskraft des erythropoetischen Apparates sehr hochgradig erschöpft ist, und wo andererseits die Resistenzfähigkeit der roten Blutkörperchen vermindert ist. In solchen Fällen führt die zerstörende Kraft des Thorium X sehr leicht dazu, daß die stimulierende Kraft die Oberherrschaft gewinnt. Also es soll Thorium nicht angewendet werden in Fällen, wo die Leukozyten vermindert sind. Dies ist bekanntlich manch-

mal erst in den späten, manchmal in sehr frühen Stadien der perniziösen Anämie der Fall.

In manchen Fällen führt Thorium X zu starken Blutungen. Nach v. Noorden scheint das Thorium ein starkes Abtreibungsmittel zu sein.

Wie bereits im Kapitel VI ausgeführt wurde, ist die Inhalationsmethode bei der Thoriumbehandlung weit weniger aussichtsreich als die Verabreichung des Thorium X in Lösung innerlich oder per injectionem.

Als Kontraindikationen der Thorium X-Therapie bezeichnet v. Noorden folgende Krankheitszustände:

1. Herzschwächezustände jeder Art.
2. Neurosen des vegetativen Nervensystems, besonders des autonomen Systems und schwere Neurasthenien.
3. Morbus Basedowii, schwerer Diabetes, fieberhafte Zustände.
4. Neigungen zu Blutungen verschiedener Art (besonders Menorrhagien, Metrorrhagien, Hämoptoe, hämorrhagischen Diathesen, Neigung zu hämophilen Prozessen.
5. Weit vorgeschrittene Erkrankungen des erythroplastischen und leukoplastischen Systems, im Gegensatz zu früheren Stadien, die sich vortrefflich für die Therapie eignen.
6. Kachexien jeder Art.
7. Marasmus senilis im Gegensatz zu beginnenden Alterserscheinungen, die sich vortrefflich dafür eignen.

Das Aktinium X scheint sich in der Behandlung der perniziösen Anämie ebenfalls zu bewähren; es wird von Lazarus über einen Fall von schwerer perniziöser Anämie berichtet, der durch eine dreiwöchige Behandlung nach den bisher üblichen Methoden sich soweit verschlimmerte, daß der Fall aussichtslos erschien. Es wurden nun subkutan und innerlich 40 bis 80 000 M.-E. in dosi refracta verabreicht, worauf eine rasche Besserung des

Blutbildes wie des Allgemeinbefindens eintrat. Die Zunahme der Erythrozyten und des Hämoglobingehaltes wies darauf hin, daß durch die Anreicherung des Aktiniums im Knochenmark die Blutbildung günstig beinflußt wurde, eine Tatsache, die auch durch Zunahme der eosinophilen und polynukleären Zellen und die Reduktion der vorher bestehenden Lymphozytose bestätigt wurde.

Weitere Prüfungen stehen zur Zeit noch aus.

IX. Kapitel.

Erkrankungen des Nervensystems.

Die experimentellen Grundlagen für die Einwirkung der in Betracht kommenden Radioelemente auf das Nervensystem, wie sie durch die Untersuchungen von Obersteiner, Horsley und Finzi, London usw. gegeben worden sind, haben wir bereits in Kapitel V des I. Teiles besprochen und können uns hier darauf beschränken, kurz zu rekapitulieren, daß bei den Experimenten mit Bestrahlungen sich zunächst Reizerscheinungen des Zentralnervensystems einstellten, die in relativ kurzer Zeit — je nach der Dosis und der Dauer der Bestrahlung — in Lähmungserscheinungen übergingen. Dieser von Obersteiner erhobene und als Ausdruck einer allgemeinen Störung des Stoffwechsels und der Zirkulation angesprochene Befund wurde von Horsley und Finzi bei ihren Versuchen an Affen dahin ergänzt, daß bei kurzdauernden Bestrahlungen das Nervengewebe eine anatomische Veränderung und funktionelle Störungen nicht erkennen ließ. Bei direkter Bestrahlung der bloßgelegten motorischen Zentren der Hirnrinde zeigte Schoukowski zunächst eine Reizwirkung, die sich in der ersten Viertelstunde in einer Erhöhung der Erregbarkeit kennzeichnete, sodann in einem Absinken und einem allmählichen Uebergang in ein Stadium verminderter Erregbarkeit. Aehnliche Ergebnisse hatten die Untersuchungen von Okada und Becquerel an peripheren Nerven (Ischiadicus).

Aus Vorstehendem ergibt sich, daß eine therapeutische Anwendung der Strahlenwirkung nur in geringem Umfange zu erwarten ist. Und zwar ist es vor allem die schmerzlindernde Wirkung, die bei den verschiedenen Formen der Neuralgie, bei Gastralgien und gastrischen u. a. Krisen der Tabiker sowie bei

den anderen schmerzhaften Sensationen der Rückenmarkskranken benutzt werden kann (Wickham und Degrais, Foveau de Courmelles, Raymond und Zimmern, Wichmann, Buxbaum usw.). Darier empfiehlt die externe Radiumapplikation bei schmerzhaften Augenaffektionen und Orbitalneuralgien.

Die Technik der Behandlung ergibt sich aus unseren Darlegungen über die Natur der drei Strahlengattungen. Die Alpha-Strahlen wird man zur Anwendung bringen, wenn es sich um oberflächlich liegende schmerzhafte Gebiete handelt, und zwar wird man, da die Alpha-Strahlen sehr leicht zerstörend wirken können, kurz dauernde Sitzungen verordnen; die Dauer richtet sich ceteris paribus nach der Stärke des Radiumpräparates. Will man mehr in die Tiefe wirken, so wird man entsprechende Filter zwischen Präparate und Objekt zwischenschalten, sodaß vorwiegend die harten Beta-Strahlen und die Gamma-Strahlen zur Wirkung gelangen; hierbei wird man die Sitzungen länger ausdehnen und kräftigere Präparate anwenden. Endlich wird man durch Zwischenschalten noch stärkerer Filter nur die Gamma-Strahlen zur Wirkung gelangen lassen, wenn die schmerzende Region noch mehr in der Tiefe liegt; hierzu bedarf man noch stärkerer Präparate, da die Gamma-Strahlen nur 10 % der Gesamtstrahlung ausmachen.

Es kommen also außer den rheumatischen Schmerzen alle Formen der Neuralgien wie Ischias, Interkostalneuralgie, Orbitalneuralgie, Migräne wie im allgemeinen Kopfweh, Krisen der Tabiker sowie ihre lanzinierenden Schmerzen, Hauthyperästhesie bei Herpes zoster, heftiger Juckreiz usw. usw. in Betracht.

Eine weitere Indikation scheint nach Fabre und Bouchard die Syringomyelie zu bilden; sie behandelten fünf Fälle mit Radiumbestrahlungen derjenigen Stelle des Rückenmarkes, die sie für den Sitz der Erkrankung hielten. Diese Stelle wurde jeden Tag 10 Minuten bis 1½ Stunden lang abwechselnd links und rechts an den Dornfortsätzen bestrahlt und damit nach Ansicht der Autoren ein Stillstand in der Weiterentwicklung der Zerstörung bezw. Zellwucherung erreicht, der sich bereits nach

drei bis vier Sitzungen durch Besserung der Symptome bemerkbar gemacht hatte.

Des Ferneren berichtet Marinescu von zwei Fällen von multipler Sklerose, die sich durch Bestrahlung der Wirbelsäule hinsichtlich Sprache, Schrift, Zittern und Gang gebessert hätten.

Von der Radiumemanation wissen wir, daß sie imstande ist, eine Reihe allgemeiner Einwirkungen auf den Menschen auszuüben, die sich zum Teil in einer Besserung nervöser Symptome, wie z. B. Schlaflosigkeit, Erschöpfung, allgemeines Unbehagen usw. zum Teil gerade in der Erzeugung der genannten Symptome äußern, sodaß sich besonders bei nervösen Personen nicht vorher sagen läßt, ob sich ein sedativer oder ein erethischer Einfluß durch einen Aufenthalt in einer emanationshaltigen Atmosphäre einstellen wird. Dies gilt speziell für nervöse Personen, sei es, daß die Neurasthenie als idiopathisches Krankheitsbild besteht, sei es, daß sie eine Komplikation anderer Erkrankungen bildet.

Unter den Neuritiden und Neuralgien, die durch Emanationsbehandlung zweifellos günstig beeinflußt werden, ist in erster Linie die Ischias zu nennen, über deren Behandlung mit Emanation in Form von Trinkkuren, Inhalations- und Badekuren eine große Anzahl Berichte in der Literatur vorliegen. Auch hier sind die gleichen Autoren zu nennen, die sich mit der Untersuchung der Emanationswirkung bei rheumatischen Erkrankungen beschäftigt haben, also v. Neusser, Gottlieb, Dautwitz, Fürstenberg, Haupt, Schultze, Kemen, Löwenthal, Mannes und Wellmann, Eichholz, Gudzent, Strasser und Selka usw. usw.

Von Sommer liegt eine Statistik vor über 73 Ischiaskranke, von denen 40 geheilt, 23 gebessert wurden und 10 refraktär blieben. Von 70 Ischiasfällen erzielte Kemen in 38 Fällen Heilung, in 26 Besserung, bei 12 keinen Erfolg. Falta und Freund erzielten in 12 von 14 Fällen wesentliche Besserung, Jansen in fünf unter sieben Fällen.

Durch diese Statistiken wird die allgemeine Erfahrung bestätigt, daß aus uns völlig unbekannten Gründen eine gewisse An-

zahl von Fällen der verschiedenen Krankheiten sich der Emanation gegenüber genau so indifferent verhalten, wie wir das bei anderen Behandlungsmethoden auch sehen. Man muß versuchen, durch Erkennung und Berücksichtigung der individuellen Faktoren die Zahl der refraktären Fälle möglichst zu verkleinern, dies gilt auch für die Emanationsbehandlung, bei welcher die Dosierung besondere Beobachtung finden muß. Um vor unangenehmen Zufällen möglichst gesichert zu sein, empfiehlt es sich, bei Ischiasfällen — wie überhaupt im allgemeinen bei Nervenleiden, auch solchen funktioneller Art —, mit kleinen Dosen zu beginnen und sich vorsichtig unter genauer Kontrolle des Befindens bis zu höheren Dosen hinzutasten. Bringen kleine Dosen bereits einen zufriedenstellenden Erfolg, so verbleibt man natürlich bei diesen. Andernfalls gelingt es, in Fällen, die auf kleine Dosen nicht reagieren, durch hohe Dosen eklatante Erfolge zu erzielen, wie das besonders von der v. Noordenschen Schule, die zuerst zu hohen Dosen überging, berichtet wird.

Neuritis infolge von Lues bietet geringe Aussicht. Dagegen erzielten Falta und Freund bei diabetischer Neuritis gute Erfolge, ebenso bei den Neuritiden, wie sie im Gefolge von Fettsucht öfter vorkommen.

Besonders wichtig wegen der großen Zahl von Kranken und wegen der Aussichtslosigkeit der bisherigen Behandlungsmethoden ist der günstige Einfluß der Emanationstherapie auf die lanzinierenden Schmerzen der Tabiker, der ebenfalls von zahlreichen Seiten bestätigt wird. So berichten Falta und Freund über 16 Fälle von degenerativer Neuritis, von denen 6 gebessert wurden, 10 dagegen, die sich im Stadium einer mehr oder minder vorgeschrittenen Kachexie befanden, versagten. Sommer, der eine umfassende Uebersicht von 664 Fällen, bestehend aus 48 Krankheitskategorien, zusammenstellte, gibt an, daß bei 5 von 13 Fällen die Schmerzen gelindert wurden. Auch von Strasser und Selka wird über auffällige Besserung der tabischen Neuralgien berichtet.

Natürlich darf man nicht etwa eine Heilung oder eine Besserung der anatomischen Prozesse bei der Tabes erwarten, wie denn auch die übrigen Symptome der Tabes durch die Emanationsbehandlung nicht beeinflußt werden können. Es handelt sich,

bei der relativ günstigen Beeinflussung der lanzinierenden Schmerzen höchstwahrscheinlich um eine Wirkung, die wir der entzündungswidrigen Eigenschaft der Emanation verdanken.

Diese Eigenschaft können wir auch benutzen, um schmerzhafte Nervenentzündungen, wie wir sie in Form der alkoholischen Polyneuritis, traumatischen Neuralgien, Orbitalneuralgien, Trigeminusneuralgien usw. usw. antreffen, zu lindern. In all diesen Fällen ist die Dosis mit großer Vorsicht zu bestimmen und eine evtl. Steigerung der Dosen zur Erzielung besserer Erfolge von dem jeweiligen Befinden des Patienten abhängig zu machen.

In einer großen Anzahl von Fällen wird man die sogenannte Reaktion beobachten, die im allgemeinen ein prognostisch günstiges Zeichen ist, in manchen Fällen aber derart heftig auftritt, daß eine Unterbrechung der Behandlung notwendig ist. Gewöhnlich macht sich die Reaktion bei der Trinkkur Ende der ersten Woche und Mitte der zweiten Woche geltend, bei der Inhalation ungefähr zur gleichen Zeit, bei der Badekur zwischen dem dritten und zehnten Bade. Bei Nervenkranken besteht die Reaktion gewöhnlich in einem Derangement des Allgemeinbefindens, indem sich Mattigkeit, Kopfdruck, Kopfweh, Schlaflosigkeit, Erregungszustände einstellen. Alle diese Erscheinungen gehen in der Regel rasch vorüber und bilden, sofern sie nicht auf suggestiven Einflüssen beruhen, die Einleitung zu einer endgültigen Besserung. Man wird die Behandlung nur dann unterbrechen, wenn die Erregungszustände zu hohe Grade annehmen, oder wenn sich die Schmerzanfälle bis zu unerträglichen Graden häufen. Vielfach wird sich durch entsprechende Herabsetzung der Dosen eine Fortsetzung der Behandlung ermöglichen lassen.

Den gleichen Indikationskreis umfaßt die Anwendung des Thorium X, das entweder innerlich oder subkutan verabreicht wird. Bei Ischias, Okzipitalneuralgien, Migräne, tabischen Schmerzen usw. sah v. Noorden befriedigende Erfolge, ebenso schreibt er der Injektion geringer Mengen von Thorium X eine günstige Wirkung auf die Schlaflosigkeit zu.

X. Kapitel.

Die Bedeutung der Radioaktivität in der Balneologie.

Nachdem wir in den vorstehenden Kapiteln das Indikationsgebiet der Emanationsbehandlung dargestellt haben, scheint es uns am Platze zu sein, die Radioaktivität der Kurorte und die Beziehung zu den in den Kurorten beobachteten Heilerfolgen einer genaueren Besprechung zu unterziehen. Es ist dieses um so notwendiger, als das Auffinden der Emanation in zahlreichen Quellen eine Veranlassung gewesen ist, eine gewisse Gruppe von Kurorten aus der Zahl der übrigen abzusondern und sie in den Ruf einer besonders heilkräftigen Wirkung zu bringen, und als ferner — eine natürliche Folge dieser in der Reklame stark hervorgekehrten Entdeckung — ein größerer Zustrom hoffnungsfroher Patienten nach diesen Kurorten erfolgt.

Es ist sonach nicht zu verwundern, daß sich in jedem einzelnen Badeort ein eifriges Suchen nach dem zauberhaften Element erhob — zauberhaft besonders insofern, als es eine größere Anzahl von Patienten herbeizuzaubern vermochte. Konsequenterweise hat man nicht nur die Mineralwässer, sondern auch die Quellgase und auch die atmosphärische Luft auf ihren Aktivitätsgehalt untersucht und in den gefundenen Werten eine Erklärung für die Heileffekte des betreffenden Ortes aufzufinden vermeint.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß die Mineralquellen, an Ort und Stelle getrunken, viel intensivere Wirkungen auf den Organismus ausüben, als wenn das Mineralwasser nach einem mehr oder weniger lang dauernden Versand und Lagern in die Hände des Konsumenten kommt, ja bei vielen Mineralwässern ist die bei ihrem Genuß erhoffte Besserung eines Krankheitszustandes direkt an den Gebrauch am Quellorte gebunden. Diese zweifellos feststehende Erscheinung hat zu zahlreichen Untersuchungen und noch zahlreicheren Hypothesen Veranlassung gegeben, die sich

darauf erstreckten, eine qualitative oder quantitative Aenderung in der Zusammensetzung der Mineralwässer zu ergründen oder zu begründen. Trotz alledem ist es bisher nicht gelungen, ein natürliches Mineralwasser auf künstlichem Wege mit genau denselben therapeutischen Eigenschaften herzustellen. Es müssen in den natürlichen Wässern gewisse Prinzipien wirksam sein, die sich vorläufig unserer Erkenntnis noch entziehen.

Die Geschichte der Bemühungen, dieses geheimnisvolle Etwas zu erkennen, finden wir in den Urteilen der Mediziner, z. B. über die Gasteiner Therme versinnbildlicht. Paracelsus glaubte, das wirksame Prinzip in den in Wasser gelösten Salzen gefunden zu haben, und suchte den Hauptwert des Wassers in dem Verdampfungsrückstand; diese Anschauung war beherrscht von grobchemischen Vorstellungen. In der Mitte des 18. Jahrhunderts schrieb der Fürsterzbischöfliche Leibmedikus Eckel die Wirkung des Wassers den vom „Archäus" bestrahlten Säften und mineralischen Substanzen des Erdinnern zu. 50 Jahre später wurde von Barisani die erste chemische Analyse vorgenommen und auf die Anschauung des Paracelsus zurückgegriffen, der Hauptwert also auf die chemische Zusammensetzung der Gesamtquelle gelegt. Wiederum 50 Jahre später erklärte Dr. Niederhuber, daß weder die chemische Analyse noch die Wärme die Wirkung der Therme verständlich machen könnte, sondern daß ein besonderes „feines durchdringliches Wesen" als letzte Ursache angenommen werden müßte. Und dann kamen die Entdeckungen der Chemie und der physikalischen Chemie von dem Zerfall der Salze in Ionen, der elektrolytischen Leitfähigkeit und endlich der Radioaktivität, Erkenntnisse, die allesamt ein scharfes Schlaglicht auf die Geheimnisse der Mineralwässer werfen, ohne freilich gerade die letzten und für die Medizin wichtigsten Fragen befriedigend lösen zu können.

Daß auch der Emanationsgehalt die Frage nach dem gesuchten wirksamen Agens nicht lösen kann, erhellt schon die Tatsache, daß eine Reihe von Mineralwässern, deren treffliche Wirksamkeit seit Jahrzehnten und Jahrhunderten unbestritten feststeht, eine ganz geringe Radioaktivität haben, so daß eine besondere Wirkung von dieser Seite kaum angenommen werden darf; man müßte denn der Ansicht sein, daß der geringe

Emanationsgehalt die notwendige ergänzende Komponente für die sonstigen individuellen Eigenschaften der Quelle sei, eine Vorstellung, die einigermaßen gekünstelt erscheint.

Anderseits gehören einige der ältesten und bestbewährten Heilquellen zu den emanationsreichsten, und bei ihnen ist naturgemäß der Gedanke an einen Zusammenhang, ja eine Abhängigkeit der therapeutischen Wirkung von dem Emanationsgehalt gegeben. So enthält die Gasteiner Chorinski-Quelle Hauptstollen 221,90 M.-E., die Georgenquelle in Landeck 206 M.-E., die Gasteiner Wasserfallquelle 160 M.-E., die Grabenbäckerquelle 155 bez. 149 M.-E., die Büttquelle in Baden-Baden 126 M.-E., das Quellgas des Karlsbader Mühlbrunnen 94, 2 M.-E. und das Wasser des Mühlbrunnens 31,5 M.-E.

Wenn also Löwenthal in der Berl. klin. Woch. 1910 Nr. 7 die Ansicht äußert, daß in dem Emanationsgehalt der Quellen ein wertvoller, wenn nicht der wichtigste Heilfaktor gefunden sei, und daß, wenn auch noch ein gut Teil Skepsis bei an sich berufenen Beurteilern herrsche, wirklich begründete Einwände gegen die therapeutische Bedeutung der Emanation nicht erheben werden könnten, so können wir ihm darin zweifellos beistimmen, daß der Emanationsgehalt eine große Bedeutung für die Balneologie in wissenschaftlicher wie in praktischer Beziehung gewonnen hat.

Schon bald nach den Entdeckungen von Elster und Geitel, Thomson, Himstedt u. a., daß die atmosphärische Luft ebenso wie das Quellwasser radioaktiv sei, begannen systematische Untersuchungen der Heilquellen auf ihren Gehalt an Radium bezw. Emanation, und in relativ kurzer Zeit wurde dieser neue Zweig der balneologischen Wissenschaft derart gefördert, daß es nunmehr schon fast keine bedeutendere Mineralquelle mehr gibt, deren Emanationsgehalt nicht festgestellt worden wäre.

Von 422 natürlichen Heilquellen des deutschen Sprachgebietes hat Sommer die Aktivitätszahlen zusammengestellt, dazu die von dem Franzensbader Mineralmoor und von 15 Quellgasen. Nach dieser Zusammenstellung ergibt sich, daß die höchste Aktivität, nämlich 600 M.-E. im Liter der Wernerlaufquelle in Joachimsthal zukommt. Allerdings ist dieser Emanationsgehalt

durch die Aktivität der Brambacher Wettinquelle, die ca. 2000 M.-E. im Liter enthält, weit in den Schatten gestellt. Ganz neuerdings soll nun in Joachimsthal eine Quelle mit einer Aktivität von 5600 M.-E. aufgefunden worden sein. Wir geben im Folgenden eine Tabelle, die nach Sommer die Mineralwässer mit einer Aktivität von mehr als 50 M.-E. pro Liter enthält, indem wir uns dem Vorschlag v. Noordens anschließen, der die Radiumquellen folgendermaßen einteilt:

1. stark radioaktive Quellen mit 100 und mehr M.-E. pro Liter Wasser,
2. mittelstarke Quellen mit 50—100 M.-E. pro Liter,
3. schwache Quellen mit 20—50 M.-E. pro Liter.

Die folgende Tabelle enthält also die starken und mittelstarken Quellen.

Karlsbad, Schloßbrunnen (Gas)	50,2 M.-E.
Froy, Magenquelle	51,0 M.-E.
Landeck, Marienquelle	51,5 M.-E.
Tannbach, Schloßteichquelle	52,0 M.-E.
Landeck, Wiesenquelle	53,8 M.-E.
Gastein, Chirurgenquelle	54,5 M.-E.
Gastein, Franz Josephstollen, Hauptquelle	54,6 M.-E.
Gastein, Franz Josephstollen, vordere Quelle	61,7 M.-E.
Gastein, Franz Josephstollen, hintere Quelle	64,5 M.-E.
Gastein, Rudolfstollen	68,8 M.-E.
Gastein, Elisabethstollen	73,7 M.-E.
Gastein, Chorinskiquelle	ca. 84,6 M.-E.
Landeck, Friedrichsquelle	119,8 M.-E.
Gastein, Elisabethstollen (Hauptquelle)	122,4 M.-E.
Baden-Baden, Buttquelle	26,0 M.-E.
Gastein, Elisabethstollen, Hauptquelle	133,0 M.-E.
Gastein, Elisabethstollen, südliche Quelle	140,2 M.-E.
Gastein, Grabenbäckerquelle	ca. 152,0 M.-E.
Gastein, Wasserfallquelle	160,0 M.-E.
Gastein, Chorinskiquelle, Hauptstollen	221,9 M.-E.
Joachimsthal, Wernerlaufquelle	600,0 M.-E.
Brambach, Wettinquelle	ca. 2000,0 M.-E.
Joachimsthal, Barbarastollen	5600,0 M.-E.

Von Lachmann sind die Quellen nach ihrer Aktivität gruppiert worden; wie aus folgender Tabelle ersichtlich.

0,00	bis	1,00	M.-E.	96	Quellen	=	22,7 %
1,01	„	2,00	„	89	„	=	21,1 %
2,01	„	3,00	„	47	„	=	11,1 %
3,01	„	4,00	„	40	„	=	9,5 %
4,01	„	5,00	„	20	„	=	4,7 %
5,01	„	6,00	„	19	„	=	4,5 %
6,01	„	7,00	„	10	„	=	2,4 %
7,01	„	8,00	„	13	„	=	3,1 %
8,01	„	9,00	„	10	„	=	2,4 %
9,01	„	10,00	„	13	„	=	0,7 %
10,01	„	20,00	„	31	„	=	7,4 %
20,01	„	30,00	„	15	„	=	3,6 %
30,01	„	40,00	„	6	„	=	1,4 %
40,01	„	50,00	„	6	„	=	1,4 %
50,01	„	100,00	„	8	„	=	1,9 %
mehr	als	100,00	„	9	„	=	2,1 %

Soweit die Quellen zum Trinken benutzt werden, kann ihr therapeutischer Wert, sofern dieser ausschließlich durch den Emanationsgehalt bedingt würde, nach der Dosierung berechnet werden, wie sie bei den emanationsspendenden Apparaten innegehalten werden. Nehmen wir an, daß die Trinkkur bei einem Gichtiker mit 1000 M.-E. pro Tag beginnt und in Intervallen von je zwei Tagen bis auf 10 000 M.-E. steigt, so läßt sich leicht ermessen, daß nur die höchstaktiven Quellen zur Trinkkur angewandt werden können, um eine gleiche Dosis in einem angemessenen Quantum Wasser einzuverleiben. Man verabreicht gewöhnlich Dosen von 200 gr Flüssigkeit und kann pro Tag nicht gut über 1 Liter hinausgehen. Diese Daten lassen sich mittels der Trinkapparate ohne Schwierigkeit innehalten, dagegen ist es nicht möglich, auch nur 1000 M.-E. täglich mit einer Quelle von 100 M.-E. pro Liter zu verabreichen, weil dann 10 Liter getrunken werden müßten, und dabei soll die Dosis nach dem angenommenen Beispiel noch um das Zehnfache bis auf 10 000 M.-E. gesteigert werden!

Die letztgenannte Dosis, die gar nicht einmal besonders hoch ist, kann sogar von den höchstaktiven Quellen nicht geleistet werden, selbst von der Wettinquelle wären fünf Liter Flüssigkeit erforderlich.

Es heißt also auch bei der Auswahl der zu einer evtl. Radiumtrinkkur zu bestimmenden Mineralquelle streng zu individualisieren. Es mag sicherlich Fälle geben, die bereits auf sehr geringe Emanationsdosen mit Besserung reagieren. Experimentell ist ein solcher Hinweis von Bickel und Bergell gegeben worden, die die Einwirkung des emanationshaltigen und emanationsfreien Wiesbadener Kochbrunnens auf die Magenverdauung studierten und fanden, daß der emanationsfreie Kochbrunnen die Eiweißverdauung hemmt und daß diese Hemmung durch Zusatz von Emanation aufgehoben wird. Der Wiesbadener Kochbrunnen enthält im natürlichen Zustande nur 1,23 M.-E. pro Liter.

Im allgemeinen wird man allerdings von dem natürlichen Emanationsgehalt der zu Trinkkuren verwendeten Mineralquellen einen wesentlichen Anteil an dem therapeutischen Effekt kaum annehmen dürfen. Selbst wenn man der Ansicht ist, daß der gefundene natürliche Emanationsgehalt, und eben nur dieser, zu der speziellen Eigenart, zu dem individuellen Organismus einer Quelle hinzugehört und demgemäß auch zur therapeutischen Wirkung beiträgt, so kann dies doch nur eben in Gemeinschaft mit den übrigen charakteristischen Eigenschaften der Quelle geschehen, und man darf nicht von einer radioaktiven Quelle in dem Sinne sprechen, daß der physikalisch geringfügige Gehalt an Emanation ein wichtiger oder gar der wichtigste Heilfaktor wäre. Diese Verirrung der Reklame ist aber leider vielfach anzutreffen, weil oft dem Geschmack des Publikums und den kommerziellen Interessen mehr Rechnung getragen wird als der wissenschaftlichen Exaktheit.

Da wir wohl daran nicht mehr zweifeln können, daß bei Trinkkuren mit höheren Dosen mehr ausgerichtet werden kann als mit niedrigen, so wird man, soweit eine Radiumkur in Betracht kommt, eine Trinkkur mit einem geeigneten Trinkapparat zu Hause vornehmen und den Patienten, falls es wünschenswert erscheint, aus anderen Gesichtspunkten heraus, nicht des Radium wegen in einen geeigneten Kurort schicken.

Selbstredend kann eine solche hochdosierte Trinkkur auch in einem Badeort vorgenommen werden, der die nötigen Apparate zur Verfügung hat. Nur muß man sich darüber klar sein, daß die Trinkkur nicht an den Ort gebunden ist und keinen wesentlichen Bestandteil der spezifischen Kurmethoden eines Badeortes darstellt.

Etwas anders liegen die Verhältnisse, wenn man das Mineralwasser oder die Quellgase zur Inhalation verwendet. Prinzipiell ist es bei der Gleichartigkeit der natürlich vorkommenden und der aus Apparaten entnommenen Emanation durchaus gleichgültig, an welchem Orte eine Inhalationskur durchgeführt wird. Indes können hier die radioaktiven Kurorte mit Erfolg konkurrieren, da sie vor allem die grundlegende Möglichkeit haben, die Emanation in der zu Inhalationszwecken ausreichenden Dosis von Natur aus zur Verfügung zu stellen. Diese Möglichkeit liegt freilich auch nur wieder in ganz wenigen Kurorten vor, z. B. Landeck, Gastein, Teplitz, Kreuznach, Joachimsthal, Bad Elster, Brambach. Andere Kurorte, die von der Natur weniger verschwenderisch mit dem kostbaren Element ausgestattet sind, suchen das Manko auszugleichen, indem sie künstlich nachhelfen und die natürlich ausströmende Emanation durch den Vorrat eines radiumhaltigen Apparates ergänzen. Vielfach wird die in den Quellgasen enthaltene Emanation mit der im Quellwasser enthaltenen zum Zwecke der Inhalation vereinigt.

Daß in den Quellgasen Emanation enthalten ist, wurde frühzeitig festgestellt, und zwar untersuchten Curie und Laborde an mehreren Orten den Emanationsgehalt der zugleich mit dem Wasser aus der Erde entweichenden Quellgase. Sie bestimmten die Aktivität 4 Tage nach der Entnahme, so daß die gefundene Menge, mit 2 multipliziert, dem wirklichen Emanationsgehalt entspricht. Die Vergleichsgröße ist die Anzahl der Minuten N, innerhalb deren ein Liter Luft von 1 mg reinem Radiumbromid die gleiche Menge Emanation annimmt, wie die in 1 Liter des untersuchten Gases enthaltene Emanationsmenge beträgt. Folgende Werte wurden gefunden:

Bad Gastein Grabenbäckerquelle	N = 19,7
Plombière (Vogesen) Vauquelin-Quelle	N = 2,5
Trou des Capucines	N = 1,16
Bains les Bains	N = 0,89
Vichy	N = 0,25

Läßt man also ein mg reines Radiumbromid auf 1 Liter Luft einwirken, so enthält dieses Luftquantum nach 19,7 Minuten dieselbe Emanationsmenge, wie das Quellgas der Grabenbäckerquelle im Moment des Entweichens im Liter enthält.

Einige weitere Gasanalysen sind nach Sommer in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Ort	Name der Quelle	Emanationsgehalt des Gases	Emanationsgehalt der Quelle
Tarasp	Luciusquelle	0,61	1,01
Tarasp	Emeritaquelle	0,65	0,93
Karlsbad	Sprudel	0,88	—
Marienbad	Ambrosiusbrunnen	1,48	1,62
Karlsbad	Marktbrunnen	1,51	2,45
Marienbad	Gasquelle	2,39	—
Vöslau	Vollbadquelle	2,48	0,70
Vöslau	Hauptquelle	2,60	0,71
Karlsbad	Bernhardbrunnen	4,00	1,58
Marienbad	Kreuzbrunnen	8,68	4,26
Marienbad	Waldquelle	10,9	4,57
Gleichenberg	Constantinquelle	15,0	5,7
Teplitz	Urquelle	21,9	4,96
Karlsbad	Schloßbrunnen	50,2	17,4
Karlsbad	Mühlbrunnen, vord. Quelle	94,2	31,5
Kreuznach	Soolquelle	—	56,8
Kreuznach	Elisabethquelle	55,0	13,0

Aus vorstehender Tabelle ist ersichtlich, daß der Emanationsgehalt der Quellgase bei einigen Quellen den des Quellwassers übersteigt, eine Tatsache, die deshalb nicht zu überraschen braucht, weil bekanntlich der Löslichkeitskoeffizient der Emanation in Luft sehr viel größer ist als der im Wasser (3 : 1), so daß das Wasser die darin enthaltene Emanation leicht abgibt.

Die zunächst zur Inhalation verwandten Dosen von 2 bis 4 M.-E. pro Luftliter (Löwenthal, Gudzent, Fürstenberg u. a.) haben zwar nach den Mitteilungen der genannten Autoren günstige therapeutische Effekte erzielt, indes werden doch von anderen Seiten (Lazarus, v. Noorden, Falta usw.) wesentlich höhere Dosen, sogar bis zu 1000 und mehr M.-E. pro Luftliter empfohlen. In den Bädern pflegt man die emanationsreichen Quellgase zu dem Inhalationsraum hinzuleiten. In Kreuznach wird hierzu eine Stollenluft verwandt, die aus einer Tiefe von 300 m aus dem Porphyrgestein mittels eines Hochdruckluftgebläses herausgeholt wird und einen Emanationsgehalt bis zu 200 M.-E. aufweist. Der Emanationsgehalt im Kreuznacher Inhalatorium, der also hauptsächlich mit Quellgasen gespeist wird, schwankt zwischen 13,5 und 25 M.-E. im Luftliter. Ebenso genügt in Brambach der Emanationsgehalt der mit der Wettinquelle zu Tage tretenden Gase, um einen Inhalationsraum zu speisen, dessen Gehalt auf 10 M.-E. eingestellt wird.

In anderen Badeorten wird die Aktivität des Quellwassers mit der des Quellgases vereinigt oder allein verwendet, um im Emanationsraum einen ausreichenden Gehalt an Emanation zu erzielen. Auf diese Weise wird z. B. in Teplitz das Emanatorium von 125 cbm Rauminhalt mit der Emanation versorgt, die aus dem Wasser der Steinquelle (24—25 M.-E. pro Liter) durch Versprühen mittels 16 Streudüsen freigeworden ist; der Betrieb ist so eingerichtet, daß nach zwei Stunden im Emanationsraum 1,37 M.-E. pro Liter, nach 12 Stunden 5 M.-E. pro Liter Luft erreicht werden.

In Bad Elster wird das Wasser der Brambacher Wettinquelle zur Speisung eines Emanatoriums verwendet. Mittels einer komplizierten Anordnung von Kesseln und Apparaten wird die Emanation zugleich mit der Kohlensäure aus dem Wasser in Freiheit gesetzt. Ein Sauerstoffstrom führt die Gase nach dem Emanationsraum, jedoch wird vor dem Eintritt in denselben die Kohlensäure abgefangen. Die Emanation tritt von oben in den Raum hinein und wird mittels eines kräftigen Ventilators gleichmäßig verteilt. Das zur Verwendung gelangende Wasser wird in je 250 l fassenden Kesseln täglich von der Quelle per

Auto abgeholt und liefert für das Emanatorium einen Gehalt von 9 bis 10 M.-E. pro Luftliter.

Höhere Dosen stehen also in Quellenemanatorien für Inhalationszwecke nicht zur Verfügung. Es gilt deshalb das bereits bezüglich der Trinkkur Gesagte, das für diejenigen Fälle, für die ein Aktivitätsgehalt von durchschnittlich etwa 10 M.-E. pro Luftliter ausreicht, ein Kuraufenthalt in einem solchen Badeorte ruhig verordnet werden kann, vorausgesetzt, daß die klimatischen und die sonstigen Verhältnisse der gegebenen Indikation entsprechen. Man darf sich nur darüber nicht einem Irrtum hingeben, daß die Inhalation von 10 M.-E. pro Luftliter natürlich auch an allen anderen Orten der Erde vorgenommen werden kann, wo ein entsprechender Apparat zur Verfügung steht, und daß ein Patient nicht dieser Inhalation wegen gezwungen ist, einen bestimmten Kurort aufzusuchen, wenn er nicht noch andere Zwecke verfolgt, die er mit der Inhalation vereinigen kann oder soll.

Ist eine höhere Dosis erforderlich, so reichen die Emanatorien der Kurorte nicht aus, und es muß dann die Applikation der nötigen Emanationsmenge zu Hause mittels eines geeigneten Apparates vorgenommen werden.

Es bleibt noch die Frage zu beantworten, ob durch Verabreichungen emanationshaltiger Bäder in den Kurorten ein besonderer therapeutischer Vorteil gegeben ist. Auch in dieser Hinsicht ist in erster Linie die Dosierung je nach dem individuellen Bedarf an Emanation maßgebend — soweit eben mit der Emanation allein eine therapeutische Wirkung erzielt werden soll. Ueber den Emanationsgehalt des zu den Bädern verwandten Quellwassers haben wir uns bereits orientiert. Wir wissen auch, daß nach Straßburger 10—15 000 M.-E. als durchschnittlicher Emanationsgehalt eines Bades von etwa 250 Litern ausgesetzt werden muß, um einen guten therapeutischen Effekt zu erzielen; dies entspricht einem Gehalt von ca. 60 M.-E. im Liter Wasser. Nach der Lachmannschen Tabelle genügen diesen Forderungen nur 17 Quellen von 422 aktiven Quellen, das sind etwa 4 %. Sämtliche anderen Quellen können natürliche Bäder nur mit einem schwächeren Emana-

tionsgehalt liefern, die ja in den geeigneten Fällen von günstigem Erfolge begleitet sein mögen.

Die bei der Behandlung mit emanationshaltigen Bädern wirksame Form der Radioaktivität, den Weg ihrer Einverleibung haben wir an geeigneter Stelle bereits geschildert und dabei hervorgehoben, daß sichere Grundlagen für die eine oder andere Ansicht nicht gegeben sind, daß aber allem Anschein nach die Strahlenwirkung seitens der gelösten Emanation wie seitens des aktiven Niederschlages auf der Haut die beobachteten therapeutischen Erfolge verursacht. Hierbei ist es gleichgiltig, ob der Emanationsgehalt des Badewassers direkt aus der Quelle stammt oder ob dem Bade, wie das zuerst Kraus und v. Neusser sowie Löwenthal getan haben, eine Emanationsquelle in Form radiumhaltigen Materials zugesetzt wird. Wir müssen uns überhaupt zu der Ansicht bekennen, daß, wenn es sich um die ausschließliche Applikation von Emanation auf irgend eine Methode handelt, diese genau ebenso gut zu Hause als im Kurorte und wo es sich um höhere und hohe Dosen handelt besser im Hause vorgenommen werden kann, und daß sich der Besuch eines Kurortes erübrigt, wenn man beabsichtigt, nur eben die Emanation kurgemäß gebrauchen zu lassen.

Wir halten es deshalb auch sachlich für unrichtig, wenn Kurorte mit radioaktiven Quellen den Anspruch erheben, besondere therapeutische Vorteile zu bieten, etwa gegenüber denjenigen Quellen, deren Wirkung ebenfalls schon lange anerkannt ist und die nur bezüglich des Emanationsgehaltes stiefmütterlich behandelt sind. Wir können uns nicht der Ansicht von Sommer anschließen, der in natürlich-hochaktiven Quellen die Emanation als den wichtigsten Bestandteil auffaßt, sind vielmehr der Ueberzeugung, daß die übrigen Faktoren, die unsern Kurorten längst vor der Entdeckung des Radiums ihren Weltruf verschafft haben, neben der Radioaktivität durchaus nicht in den Hintergrund gestellt werden dürfen. Keinem Menschen wird es einfallen, die Wirkung der Karlsbader Quellen bei gewissen Krankheiten in Zweifel zu ziehen, und doch finden wir im Mühlbrunnen nur eine Aktivität von 31,5 M.-E. pro Liter.

Man könnte einwenden, daß die Indikationen für Karlsbad andere sind wie z. B. für Gastein und daß gerade diejenigen Krankheiten, für die Gastein indiziert ist, in Karlsbad nicht behandelt werden. Darauf wäre zu erwidern, daß das Quellgas des Mühlbrunnens 94,2 M.-E. enthält, also eine Aktivität, die außerordentlich respektabel ist und die z. B. den Emanationsgehalt des Quellgases der Teplitzer Urquelle mit 21,9 M.-E. weit übertrifft, daß ferner die Karlsbader Eisenquelle mit 38,4 M.-E. sämtliche Teplitzer Quellen bei weitem übertrifft, wie denn überhaupt die Teplitzer Quellen (Augenquelle 3,1, Frauenquelle 5,81, Riesenquelle bei Dux 8,73, Schlangenbadquelle 6,52, Steinbadquelle 6,56, Urquelle 4,96 nach Mache und Meyer, 1905) sämtlich zu den schwachen radioaktiven Quellen gehören. Trotzdem nimmt Teplitz als Kurort für die im Indikationsbereich der Emanationsbehandlung liegenden Krankheiten mit Recht einen der ersten Plätze ein.

Es erscheint uns also nicht zulässig, die übrigen Faktoren mineralischer, klimatischer und diätetischer Art zu Gunsten der Emanation bei Seite zu schieben, sondern wir glauben, daß der richtige Standpunkt der ist, in dem Emanationsgehalt, sofern er eine genügende Dichte aufweist (was allerdings bei ganz wenigen Bädern der Fall ist), ein unterstützendes Hilfsmittel zu erblicken, das den übrigen altbewährten Heilfaktoren höchstens koordiniert werden darf, und daß, soweit eine reine Radiumwirkung erwünscht ist, in dem Wohnorte des Patienten unter den geeigneten individuell zugeschnittenen Bedingungen genau das Gleiche, bei Verordnungen hoher Dosen aber weit bessere Erfolge erzielt werden können, als in sogenannten Radiumkurorten.

In dieser Ansicht können uns auch die einander gegenüberstehenden Untersuchungen von Päßler, der in Teplitz arbeitete, und seinem Assistenten Görner, der in Dresden arbeitete, nicht beeinflussen. Päßler erzielte nämlich in dem Inhalatorium in Teplitz mit 5 M.-E. pro Liter sehr günstige Resultate, während Görner auch bei Verwendung höherer Dosen in Dresden weder bei der Inhalation noch beim Trinken noch beim Baden den geringsten therapeutischen Effekt erzielt haben will. Daß bei den Päßlerschen Patienten die Teplitzer Thermen nicht mitgewirkt haben, wird ausdrücklich hervorgehoben, ja

sogar gesagt, daß ohne die Thermen ein besserer Erfolg erzielt worden wäre, also durch reine Inhalation in Teplitz, durch welche Görner in Dresden keinen Erfolg sah. Abgesehen davon, daß die Görnerschen Mißerfolge in der Literatur geradezu einzig dastehen, müßten diese Untersuchungen denn doch nicht nur in Teplitz, sondern auch in anderen Orten angestellt werden, ehe man sich entschließen könnte, die aus der Physik der Radioelemente sich ergebenden Leitsätze für die Therapie über den Haufen zu stoßen. —

Ein Gehalt von Radiumsalzen findet sich in den Mineralwässern so selten und in so geringer Menge, daß darauf an dieser Stelle nicht weiter eingegangen zu werden braucht. Wenn das Quellwasser bei seinem Aufstieg zur Oberfläche Gesteinspartikelchen mechanisch oder gelöst mit sich führt, so werden sie zum größten Teil in Form des Quellsinters niedergeschlagen, der in der Tat in manchen Orten, z. B. Kreuznach, eine starke Radioaktivität birgt. Dieser Radiumgehalt hat indes zu der Kur als solcher keine direkten Beziehungen, sondern wird vielmehr zur Herstellung von Radiumpräparaten verarbeitet, so daß er zwar ein hohes lokales Interesse in geologischer, physikalischer und finanzieller Hinsicht bietet, weit weniger aber in ärztlich-praktischem Sinne.

Ob endlich die Radioaktivität des Quellschlammes, wie sie im Fango di Battaglia (ca. 2 M.-E. pro Kilo), im Franzensbader Eisenmineralmoor (5,92 M.-E.) festgestellt worden ist, den Fundort zu einem Spezialkurort für die in Betracht kommenden Krankheiten stempeln kann, möchten wir auf Grund des bisher Gesagten ebenfalls bezweifeln und die Entscheidung jedenfalls weiteren eingehenden und vor allem vergleichenden Untersuchungen überlassen.

Es wurde bereits mehrfach erwähnt, daß die atmosphärische Luft emanationshaltig ist und daß die Dichte der Emanation umsomehr zunimmt, je mehr wir uns der Emanationsquelle nähern. Es ist also a priori anzunehmen, daß an den Fundorten des Radiums und in der Nähe hochaktiver Mineralquellen die Luft einen besonders hohen Grad von Emanation angenommen haben wird. Die Untersuchungen, soweit solche

in Joachimsthal, Brambach, Kreuznach usw. vorgenommen worden sind, bestätigen diese Annahme.

Die Radioaktivität der Luft rührt also von Gasen oder Wässern her, die aus dem Innern der Erde an die Oberfläche hervortreten, auf diesem Wege mit radiumhaltigen Erzen und Mineralien in Berührung kommen und mit Emanation beladen werden. Auch eine direkte Abgabe der Emanation von oberflächlich liegenden radioaktiven Substanzen darf angenommen werden, da die Emanation wohl als ubiquitär anzusehen, jedenfalls in allen Schichten der Atmosphäre, besonders aber in der dem Erdboden zunächst liegenden Schicht aufgefunden worden ist. Man kann zudem in den oberflächlich liegenden Erdschichten, in der Ackererde, im Humus radioaktive Substanzen nachweisen, so daß ein gewisser Emanationsgehalt als eine konstante, mehr oder weniger stark hervortretende Eigenschaft der Atmosphäre angesehen werden muß.

Da wir nun wissen, daß die Emanation die Luft ionisiert, also auf das Fluten des elektrischen Stromes wie auch überhaupt auf die elektrischen Vorgänge in der Atmosphäre einen erheblichen Einfluß ausübt, da wir andererseits wissen, daß unser Wohlbefinden gerade von diesen Verhältnissen bis zu einem gewissen Grade abhängig ist, so dürfen wir annehmen, daß der Emanationsgehalt der Luft einen wichtigen gesundheitlichen Faktor darstellt, zumal durch die Erzeugung des aktiven Niederschlages eine unmittelbare Einwirkung stattfinden kann. Die Versuche von Grabley, Steffens und anderen haben gezeigt, daß mit Hilfe des Emanationsgehaltes entweder direkt oder mittelbar auf dem Wege der Ionisierung der Luft eine Erklärung für die allgemein bekannte, in vielen Fällen höchst auffällige, ja für bestimmte Krankheitsfälle ganz spezifische Reaktion auf Witterungswechsel zu bieten vermag. Bei solchen Personen stellt sich eine Ueberempfindlichkeit in dem Sinne ein, daß sie meteorologische Veränderungen schon dann registrieren, wenn andere Personen noch vollständig intangibel sind, so daß letzteren diesbezügliche Ankündigungen der ersteren geradezu als Wettervorhersage imponieren, obwohl es sich streng genommen natürlich nicht um eine mystische Vorhersage handelt, sondern um eine Wiedergabe reeller Empfindungen.

In dieser Hinsicht fungieren als Empfangsstationen meteorologischer Veränderungen gerade diejenigen Personen, die an Krankheiten leiden, welche zum Indikationsbereich der Emanationsbehandlung gehören, vor allem Rheumatiker und Gichtiker.

Andererseits haben Respirationsversuche von Silbergleit, Kikkoji und anderen eine Steigerung des Gaswechsels, eine Erhöhung des Stoffwechsels ergeben. Und endlich wissen wir, daß die Emanation eine Hebung des Allgemeinbefindens, eine Anregung der körperlichen und geistigen Funktionen zur Folge hat, die sich besonders bei kranken oder kränklichen Individuen geltend macht; in anderen Fällen steht eine sedative Wirkung im Vordergrunde, die bei Nervösen besonders wohltuend wirkt.

All diese Tatsachen weisen darauf hin, daß der Aktivitätsgehalt der Luft nicht vernachlässigt werden darf, wenn wir von den Heilfaktoren der Kurorte und der Sommerfrischen sprechen. Wir dürfen nicht vergessen, daß es sich nicht um eine Applikation von kurzer Zeitdauer handelt, wie es bei Inhalationen oder Badekuren der Fall ist, sondern um einen während der ganzen Dauer des Kuraufenthaltes ununterbrochen anhaltenden Einfluß, der sich besonders dann geltend machen kann, wenn der betreffende Patient oder Erholungsuchende aus einer besonders emanationsarmen Umgebung kommt.

Wir alle wissen, daß vornehmlich der Großstädter nach monatelanger Arbeit in Bureaus oder in Fabrikräumen sich nach der frischen Luft des Landes, des Waldes oder des Meeres sehnt und daß ein relativ kurzer, etwa 3—4wöchiger Aufenthalt in der sogen. Sommerfrische oder Winterfrische oft eine geradezu überraschende Umwandlung in der geistigen und körperlichen Leistungsfähigkeit und in dem Befinden verursacht. Nicht umsonst und auch nicht nur zum Vergnügen reisen alljährlich Millionen Erholungsbedürftiger oder Leichtkranker, die einer strengen Kur im Sanatorium oder an bestimmten heilkräftigen Quellen nicht bedürfen, ins Waldgebiet, ins Gebirge oder an den Strand der See, sie alle fühlen instinktiv, daß ein Ortswechsel und damit ein Luftwechsel einen viel günstigeren Einfluß auf den über-

arbeiteten Geist und auf den angegriffenen Körper ausübt, als eine gleichlange Ruhepause unter gleichbleibenden Bedingungen.

Und nun gar von Kranken wissen wir, daß eine Uebersiedelung in ein geeignetes Klima, das oft nur ein anderes Klima zu sein braucht, eine der wichtigsten Grundlagen für eine erfolgreiche Therapie ist, zum mindesten ein überaus schätzenswertes Hilfsmittel, dessen ungeheure Bedeutung durch die moderne Entwicklung der Balneologie und Klimatologie zur Genüge gekennzeichnet wird.

Es läßt sich heute noch nicht mit Sicherheit sagen, wieweit die Radioaktivität der Luft an diesen oft überraschenden Alterationen des Befindens mitwirken, aber die bereits feststehenden Erfahrungen lassen doch mit hoher Wahrscheinlichkeit vermuten, daß wir uns unbewußt der mittelbaren oder unmittelbaren Einflüsse der Emanation mit bedienen, wenn wir aus dem Weichbild der Städte mit den enganeinander hausenden Bewohnern, mit der kilometerhohen Dunstwolke, mit den asphaltierten oder gepflasterten Straßen, mit den spärlichen Plätzen und Gartenanlagen uns hinausflüchten auf das weite Land, in den grünen Wald, in die Berge oder an die See, wo wir von neuem lernen, daß wir Erdgeborene sind, die mit ihrem ganzen Sein in der Scholle wurzeln. Kein Wunder auch, daß wir unsere Patienten denselben Weg gehen lassen, und sei es auch nur um den geschwächten Organismus widerstandsfähiger gegen die Verheerungen der Krankheiten zu machen.

Die Frage der Luftaktivität läßt sich sogar noch mehr ins Detail verfolgen. Es läßt sich zwischen den Indikationen, wenigstens den Hauptindikationen der Emanationsbehandlung und dem Emanationsgehalt der Luft eine gewisse Parallele ziehen. Rheumatiker und Gichtiker wird man zur Kur nicht an die See schicken, wohl aber schickt man sie in den Wald und speziell ins deutsche Mittelgebirge, ebenso gewisse Formen nervöser Leiden. All die Kurorte, die speziell für diese Patienten geeignet sind, liegen im Walde, im Mittelgebirge. Nun zeigt sich, daß der Emanationsgehalt der Seeluft bei weitem geringer ist als die Aktivität der Waldluft. Es liegt sehr nahe, einen Zusammenhang zwischen diesen Fakta anzunehmen, und wenn auch

natürlich die übrigen bekannten Faktoren wesentlich mit in Betracht zu ziehen sind, so dürften doch die Aktivitätsverhältnisse der Luft bei der therapeutischen Gruppierung der Kurorte in dem angegebenen Sinne eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielen.

Es fehlen bisher die experimentellen Grundlagen über den Einfluß der Radioaktivität der Luft — wenn wir nicht die Erfahrungstatsachen als Ergebnisse natürlicher Experimente betrachten wollen. Indes sind auf die Veranlassung und unter der Aegide des Herzoglich Sächsischen Staatsministeriums in Gotha im Gebiete des Thüringer Waldes Untersuchungen im großen Stile im Gange, die vielleicht eine Erklärung dafür bieten werden, daß das Mitteldeutsche Gebirge mit seinen weiten Wäldern von jeher eine besonders beliebte Zufluchtsstätte für Kranke und Erholungsbedürftige gewesen ist und in neuerer Zeit auch infolge des Interesses maßgebender wissenschaftlicher Kreise mehr denn je als Jungborn der Genesung aufgesucht wird. Es liegen bereits Untersuchungen vor von Sticker, der in Friedrichroda und Großtabarz die Luftaktivität bestimmt und einen hohen Ozon- und Emanationsgehalt gefunden hat. Die weiteren Feststellungen werden erkennen lassen, ob und inwieweit der Emanationsgehalt der Luft an den bekannten günstigen Einflüssen des Thüringer Waldes auf die menschliche Gesundheit beteiligt ist. Jedenfalls muß es im Interesse der medizinischen Wissenschaft und der ärztlichen Praxis mit großer Genugtuung und lebhafter Freude begrüßt werden, daß die Gothaische Staatsregierung mit feinem Verständnis für die modernen wissenschaftlichen Errungenschaften und Probleme diese hochwichtigen Untersuchungen inauguriert hat und aufs tatkräftigste und wohlwollendste fördert.

Wir rekapitulieren kurz die aus vorstehenden Ausführungen sich ergebenden Resultate.

1. Der Emanationsgehalt der Mineralquellen ist im allgemeinen sehr niedrig und kann nicht allein als Grundlage der therapeutischen Wirkungen eines Mineralwassers aufgefaßt werden; ausgenommen sind einige wenige Mineralquellen mit hoher Aktivität.

2. Die Emanationsbehandlung ist nicht an einen bestimmten Ort gebunden.

3. Der Emanationsgehalt der Luft übt auf das Allgemeinbefinden sowie auf gewisse Krankheitssymptome einen so intensiven Einfluß aus, daß diesem Faktor künftig eine größere Aufmerksamkeit als bisher gewidmet werden sollte.

XI. Kapitel.

Die Radiumtherapie der chirurgischen Geschwülste.

In diesem Kapitel wollen wir die therapeutische Beeinflussung der ins Gebiet des Chirurgen gehörigen gutartigen und bösartigen Geschwülste, speziell der Epithelialkrebse, Sarkome etc., ferner der Angiome und Keloide besprechen und müssen, gleichzeitig zum Verständnis des Kapitels über die Radiumtherapie der Hautkrankheiten und der Radiumtherapie in der Gynäkologie, zunächst das biologische Verhalten der normalen und der entarteten Epithelzellen gegenüber den Radiumstrahlen einer Darstellung unterziehen. Wir waren diese bisher noch schuldig geblieben, haben aber bereits in dem Kapitel über die biologischen Wirkungen der Radiumelemente (I. Teil, Kap. V) darauf hingewiesen, daß wir dieses Thema an dieser Stelle behandeln würden, weil es uns hier besser plaziert zu sein scheint.

A. Biologie der Strahlenwirkung.

In dem Kapitel V des I. Teiles haben wir die Biologie der Strahlenwirkung an Hand der Untersuchungen, die an Fermenten, Bakterien, pflanzlichen und tierischen Zellen und Zellkomplexen angestellt worden sind, dargestellt und haben dabei gesehen, daß die Strahlen in kleineren Dosen einen Reiz ausüben, in größeren Dosen eine Hemmung, die sich bis zur Vernichtung aller Lebensfunktionen steigern kann. Es wurde auch ausführlich auf die Frage eingegangen, ob man eine elektive Wirkung der Radiumstrahlen annehmen dürfe und zwar sowohl auf gewisse Bestandteile der Zelle, wie auf bestimmt differenzierte Zellen im ganzen. Wir haben also die Lecithinhypothese besprochen und ihre Widersacher zu Worte kommen lassen, ferner die mannigfachen Ergebnisse der Bestrahlungsversuche von London, Heinecke,

Boden, Hertwig, Exner usw. dargestellt, woraus sich ergab, daß eine ausgesprochene elektive Wirkung der Radiumstrahlen auf junge Zellen statthat, während ältere Zellen sich schwerer zugänglich erweisen.

Wichmann stellte durch Messungen die Absorptionskraft der verschiedenen Gewebsschichten für Radiumstrahlen fest und fand, daß das pathologische Gewebe bedeutend mehr Strahlen als normales absorbiert, woraus sich die elektive Fähigkeit der Radiumstrahlen, bei entsprechender Applikation pathologisches Gewebe unter Schonung des gesunden anzugreifen, erklärt. Für die Tiefenwirkung der Strahlen ist vor allem die Absorptionsfähigkeit der zwischenliegenden Schichten maßgebend.

Bezüglich der Methodik sei kurz rekapituliert, daß die Alpha-Strahlen zwar den Wirkungsbereich mit kleinstem Radius haben, dafür aber ein viel größeres Maß von Energie entfalten, daß die langsamen Beta-Strahlen in dieser Hinsicht den Alpha-Strahlen nahestehen, immerhin aber einen wesentlich größeren Wirkungsbereich haben, endlich daß die harten Beta-Strahlen eine erhebliche Durchdringungskraft haben, somit mehr in die Tiefe wirken, während die Gamma-Strahlen am wenigsten absorbiert, deshalb am weitesten in die Tiefe dringen und dort ihre Wirkung entfalten können. Nach diesen Gesichtspunkten ergibt sich für die Bestrahlungstherapie sowohl wie für die Anstellung biologischer Versuche die Wahl und Anordnung der Filter, durch deren Zwischenschaltung die gewünschte Strahlengattung ausgewählt werden kann.

Eingehende Untersuchungen über die Einwirkung der Radiumstrahlen auf die Haut stellte London an. Er studierte die Minimalwirkung des Radiums, indem er die Haut der inneren Seite des Vorderarms bei verschiedenen Personen mit 18 mg Radiumbromid ¼, ⅙, ½, 1, 2, 3, 4, 5 und 10 Minuten lang bestrahlte. Es stellte sich bereits nach einer Bestrahlung von ¼ Minute Dauer ein rötlicher Fleck ein, allerdings erst einige Tage nach der Bestrahlung; dieser dunkelte allmählich nach und war noch nach zwei Jahren nicht verschwunden.

Er brachte ferner verschiedene Gegenstände wie polierte Münzen, Scheiben aus Paraffin, Kork, Gummi, Papier usw. ein

bis drei Tage lang in emanationshaltige Luft, befestigte sie dann an verschiedenen Stellen der Arme mittels Pflasterstreifen und bedeckte sie mit einer Binde. Nach zwei bis fünf Stunden wurden diese Gegenstände entfernt, und es zeigte sich manchmal sogleich, sicher aber nach 12 bis 14 Stunden eine deutliche Rötung der Hautstellen, die sich verstärkte, nach 10 bis 12 Tagen rotbraun wurde, nach drei Wochen in Abschuppung überging, worauf eine stationäre Pigmentierung zurückblieb. Bei diesem Prozeß machte sich ein schwaches subjektives Gefühl geltend.

Wurde Watte zwei Tage lang der Emanation ausgesetzt und dann auf die Haut appliziert, so entstand eine sehr heftige Hautentzündung, die nach mehr als vier Monaten noch nicht völlig geheilt war.

Nach den Versuchen von Exner und Holzknecht zeigt die Haut wenige Stunden bis einige Tage nach einer Bestrahlung von 15 bis 20 Minuten Dauer eine blaßrote Verfärbung, die allmählich in ein tiefes Rot übergeht. Bei stärkerer Reaktion bildet sich ein gelblichweißes Bläschen, das entweder eintrocknet, oder sich öffnet und in eine stark sezernierende Ulzeration übergeht; letztere heilt schwer und geht erst nach Monaten in Narbengewebe über. Während der Bildung des Bläschens lockern sich die Haare und sind leicht auszuziehen.

Halkin untersuchte mikroskopisch die histologischen Veränderungen und fand bedeutende Degeneration der Zellen der Blutgefäße, besonders der Intima, des Epithels und des Bindegewebes, sekundär Gefäßdilatation, dann Abstoßung, Verfall und Resorption des Epithels, sowie entzündliche Infiltration. Diese Erscheinungen treten besonders oberflächlich auf und nehmen nach der Tiefe zu ab, wie denn bei Versuchen an normalen Tieren es nicht gelungen ist, eine größere Tiefenwirkung als etwa 1 cm zu erzielen.

Bei direkter Applikation von Radium enthaltenden Kapseln auf die Haut sieht man also zunächst die Reizwirkung, und zwar tritt diese nicht sofort in die Erscheinung, sondern nach einer Latenzzeit, deren Dauer sich nach dem Alter der bestrahlten Zellen, nach der Dauer der Exposition und nach der Stärke des Radiumpräparates richtet. Exner und Holzknecht erklären die Latenzzeit damit, daß die absorbierten

Radiumstrahlen in eine besondere Form von Energie übergeführt werden, die eine Dissoziationswirkung ausübe; hieraus resultiere eine Erkrankung der Zelle, und bis diese manifest werde, vergehe eine gewisse Periode.

Diese Reizwirkung besteht in einer Rötung, die vielfach mit einer Anhäufung von Pigment einhergeht oder von ihr gefolgt wird. Bei längerer Dauer oder größerer Intensität der Strahlung geht das Reizstadium in ein destruierendes über, indem sich eine Blase bildet und endlich Nekrose eintritt.

Man kann die Strahlenwirkung nach den verschiedensten Richtungen hin abstufen und differenzieren und erhält so jeweilig verschiedene Bilder (Straßmann, Thies, Werner u. a.); auch sind die Radiumgeschwüre hinsichtlich ihrer Heilungstendenz verschieden, je nachdem kurze, intensive Bestrahlungen oder schwächer dosierte, allmählich an Intensität zunehmende Applikationen vorgenommen werden.

Das Stadium des Reizes geht bei empfindlichen Zellen rascher in das der Degeneration über wie bei widerstandsfähigen. Als besonders widerstandsfähig sind die Bindegewebszellen, die Epithelien des Magen-Darmkanals einschließlich der großen Drüsen, während die Epithelien der kleinen Drüsen empfindlich sind, ferner die Endothelien der Blutgefäße anzusehen, während das lymphatische Gewebe ganz besonders empfindlich ist. Im übrigen sind die Gefäßepithelien, wie Werner fand, verschieden empfindlich; auch sind die Arterienendothelien nach Thies und Werner empfindlicher als die Venenendothelien. Sehr resistent ist auch die Muskulatur, ebenso das elastische Gewebe, Knorpel und Knochen.

Nach einer gewissen Zeit geht das Radiumgeschwür in Heilung über, die in einer Narbenbildung besteht. Die Narbe zeigt eine spezifische histologische Beschaffenheit; es fehlt ihr nach Dominici und Barcat die obliterierende Endovaskulitis sowie die Verflechtung der aus tieferen Hautschichten entlang der Gefäße aufstrebenden Bindegewebszüge. Die Schichtung erfolgt vielmehr flächenartig parallel zur Oberfläche.

Daß auch die Emanation sich den tierischen Geweben gegenüber durchaus nicht indifferent verhält, ist von London,

Danysz, Curie, Bourchard, Balthazard und anderen experimentell festgestellt worden. Auch Mesernitzky untersuchte den Einfluß der Emanation auf die menschliche Haut, wobei sich herausstellte, daß starke Dosen bei relativ geringer Berührung mit der Haut diese zerstören können. Er berichtet über einen interessanten Fall von Emanationsdermatitis bei einem 28 Jahre alten Herrn, der mit einem kleinen Glasröhrchen experimentierte, in welchem Radiumemanation in einer 130 mg-Curie entsprechenden Quantität enthalten war. Die Dauer der Berührung des Röhrchens beim Halten zwischen Zeige- und Mittelfinger betrug ca. 5 Minuten. 14 Tage später trat Rötung an den Endphalangen der beiden Daumen ein, Tags darauf der beiden Zeige- und Mittelfinger; diesen Erscheinungen war bereits zwei bis drei Tage vorher Stechen, Brennen und Schmerzhaftigkeit vorausgegangen. Weitere drei Tage später erschienen die Endphalangen der Finger verdickt, bläulichrot, die Epidermis war stellenweise zerstört. An den Endphalangen der beiden Daumen machte sich die Bildung eines Abszesses bemerkbar, ebenso am Tage darauf an den Zeige- und Mittelfingern. Diese Abszesse wurden inzidiert und mit d'Arsonvalisation behandelt. Am 9. Tage begann sich die Haut zu schälen, am 14. Tage waren die beiden Daumen vernarbt, nach 3 Wochen war der Prozeß beendet. Die Erkrankung hatte also im ganzen ca. 5 Wochen gedauert, obwohl die von der Emanation ausgehenden Beta- und Gamma-Strahlen nur ganz kurze Zeit zur Wirkung gekommen waren. — Zwei weitere gleichartige Krankheitsfälle zeigten einen ähnlichen Verlauf. In allen drei Fällen war die Hautaffektion nach der Berührung mit 100 bis 300 Millionen M.-E.-Emanation entstanden, eine Dosis, die in der Praxis therapeutisch nie zur Anwendung gelangt.

Die Wirkung des Mesothoriums auf die gesunde Haut ist von der des Radiums nicht wesentlich verschieden; allerdings fehlen dem Mesothorium die Alpha-Strahlen. Sticker bestrahlte gesunde Haut 10 Minuten lang mit 55 mg Mesothorium, worauf sich zunächst Rötung und Jucken, nach einigen Tagen Blasenbildung und schließlich Ulzeration und Abstoßung einstellten. Die Heilung des Geschwürs nahm etwa einen Monat in Anspruch.

B. Methodik.

1. Sensibilisierung und Immunisierung.

Für therapeutische Zwecke ist es unerläßlich, bestimmte Methoden zur Verfügung zu haben, um die Bestrahlung mit Sicherheit auf das der Behandlung bedürftige Tiefenniveau zu konzentrieren und dabei das übrige Gewebe intakt zu erhalten. Die verschiedene Absorptionsfähigkeit der Strahlengattungen bietet ja überhaupt die Grundlage eines derartigen Vorgehens, und zwar verhalten sich die Strahlenarten nicht nur gegenüber dem normalen Gewebe verschieden, sondern es besteht auch ein Unterschied in der Einwirkung zwischen normalem und krankem Gewebe, indem letzteres die Strahlen viel stärker absorbiert wie ersteres (London, Werner, Wickham u. a.).

Man kann nun die Strahlenwirkung noch weiter differenzieren, in dem man das tierische Gewebe gegen die Einwirkung der Radiumstrahlen durch gewisse Methoden empfindlicher oder resistenter machen kann. Dieses Verfahren hat man im Prinzip von der Röntgenbehandlung übernommen, bei der es möglich ist, ohne Schädigung der Haut in die Tiefe zu wirken, wenn man nach Reicher und Lenz die Haut oberhalb des Krankheitsherdes durch endokutane Adrenalininjektion anämisch macht. Dieses Verfahren schlug Freund ein, um zu prüfen, ob sich bei der Radiumbehandlung derselbe Effekt erzielen läßt. Er behandelte drei Hautstellen in verschiedener Weise: die eine bestrahlte er durch direktes Auflegen des Radiums 6 Minuten hindurch; die zweite Hautstelle bereitete er durch endokutane Injektion einer kleinen Menge einer Mischung von Adrenalin 1 zu 1000 mit der dreifachen Menge ½% Novokainlösung und physiologischer Kochsalzlösung vor, ehe er bestrahlte. In die dritte Hautstelle spritzte er destilliertes Wasser und bestrahlte dann in gleicher Weise.

Er beobachtete nun, daß sich nach etwa 7 Stunden an der mit Adrenalin behandelten Hautstelle ein Erythem einstellte, ebenso etwas später an der mit destilliertem Wasser behandelten Hautstelle, während die nicht vorbehandelte, also nur bestrahlte Haut noch keine Verfärbung zeigte; diese trat erst viel später als eine leichte Rötung ein. An allen drei Hautstellen

schwanden diese Erscheinungen unter leichter Pigmentierung und Schuppung.

Nun traten aber nach 19 Tagen neuerdings Erytheme auf, diesmal aber mit größerer Intensität an der mit Wasser und an der überhaupt nicht vorbehandelten Hautstelle, weit geringer an der mit Adrenalin injizierten Hautpartie. Es zeigte sich also, daß nach einer Radiumbestrahlung zwei zeitlich von einander getrennte Reaktionen auftraten, und zwar war die Intensität der Reaktion beide Male in umgekehrter Reihenfolge bemerkbar.

Eingehende Versuche, die Haut gegenüber Radiumstrahlen zu sensibilisieren und umgekehrt zu immunisieren, stellte Werner an der Klinik Czerny an. Er benutzte Kaninchen, denen die Bauch- oder Rückenhaut oder die Ohren rasiert worden waren, und variierte die Bestrahlung hinsichtlich ihrer Dauer und Intensität auf mannigfache Art. Zum Sensibilisieren wurden Eosin in 1 promilliger oder 1 prozentiger alkoholischer Lösung, ferner Lecithin, endlich direkte Schädigung des Gewebes durch Hervorrufen von Entzündungen angewandt.

Das Aufpinseln der Eosinlösung hatte einen die gewöhnliche Radiumwirkung verstärkenden Einfluß nicht zur Folge. Wurde das Eosin intrakutan eingesprizt, so ließ sich die Sensibilisierung um so leichter erzielen, je rascher auf die Injektion die Bestrahlung folgte, und zwar stieg der Grad der Sensibilität mit der Intensität der Radiumkapsel, mit der Konzentration der Eosinlösung, mit der Dichte der Infiltration und mit der Bestrahlungsdauer. Es zeigte sich eine Abnahme der Latenzzeit sowie eine raschere und vollkommenere, umfangreichere und tiefer greifende Zerstörung des Gewebes.

Die Versuche mit Lecithin ergaben, daß weder das normale noch das mit Radiumstrahlen vorbehandelte Gewebe durch eine Injektion einer 10 prozentigen Lecithinaufschwemmung in physiologischer Kochsalzlösung irgendwie beeinflußt wird, daß dagegen durch Bestrahlung des mit Lecithin infiltrierten Gewebes während 12 bis 16 Stunden eine mit der Bestrahlungsdauer rasch wachsende Verstärkung der Gesamtwirkung eintritt, und zwar in gleichem Sinne wie bei der Eosinbehandlung.

Entzündungserscheinungen lassen sich durch thermische, chemische und mechanische Reize hervorrufen. Durch wiederholtes kurzdauerndes Gefrierenlassen (Aetherspray, Aethylchlorid, Kohlensäureschnee) des Gewebes tritt die Sensibilisierung schon bei Applikation kleinster Strahlendosen hervor; es wird die untere Grenze der Radiumwirkung beträchtlich herabgesetzt. In ähnlicher Weise wird das Gewebe durch Erhitzen sensibilisiert, das durch Eintauchen der Kaninchenohren in 5-grädiges Wasser zwei bis dreimal täglich je drei bis fünf Minuten hindurch bewerkstelligt wurde.

Auf chemischem Wege erzeugte Reizungen (durch Krotonöl oder Terpentinöl) hatten eine so beträchtliche Sensibilisierung, wie sie auf thermischem Wege erreicht wurde, nicht zur Folge.

Durch Hyperämisierung zeigte sich nur das gewucherte und von Leukozyten durchsetzte Bindegewebe überempfindlich.

Mit der Anämisierung wurden eindeutige Resultate nicht erzielt, weil bei der Versuchsanordnung auf die Anämie regelmäßig eine starke Hyperämie folgte, die eine Verdickung des Kaninchenohrs hervorruft. Hierbei war besonders die Epidermis verdickt und zeigte sich für kleinste Dosen sehr empfindlich.

Endlich hat ein systematisches periodisches Beklopfen einer Hautpartie die Sensibilisierung der hierbei hypertrophierten Epidermis zur Folge.

Aus diesen Versuchen läßt sich der Schluß ziehen, daß die künstliche Erzeugung von Proliferationsprozessen die Zellen schon gegen kleine Strahlendosen empfänglicher macht, ebenso Leukozytenansammlungen gegen Anwendung größerer Strahlendosen. Die Leukozyten zerfallen bei der Bestrahlung und lassen nach den Beobachtungen Heils eine Zunahme ihrer verdauenden Kräfte erkennen; hiermit in Analogie steht die Beobachtung von Linser, nach der Serum, das die Zerfallsprodukte bestrahlter Leukozyten enthält, weiße Blutkörperchen aufzulösen vermag.

Eine relative Herabsetzung der normalen Empfindlichkeit der Gewebe gegen die Einwirkung der Radiumstrahlen (Immunisierung) gelingt nach Werner durch fortgesetzte

Anwendung derjenigen Methoden, die einen empfindlichen Reiz im Gewebe setzen. Während z. B. das Gefrierenlassen mit Hilfe des Aethersprays und des Chloräthyls bis zur Entstehung einer Dermatitis die Haut sensibilisiert, hat die gleiche Methode, so lange in dosi refracta angewandt, bis die Haut sich an den genau dosierten Reiz nach und nach sozusagen gewöhnt hat, die entgegengesetzte Folge, es tritt eine relative Immunisierung ein. Der gleiche Effekt läßt sich durch Erhitzen sowie durch die chemischen Methoden erzielen, während die Stauung, die Anämisierung und der mechanische Reiz nicht in zuverlässiger Weise zu einer Resistenz führen. Demgegenüber beobachtete Gottwald Schwarz durch Druckanämie die Herabsetzung der Hautempfindlichkeit gegen Radiumstrahlen.

Worauf bei den vorstehend beschriebenen Methoden die Herabsetzung und umgekehrt die Erhöhung der Widerstandskraft gegen die Radiumstrahlen zurückzuführen ist, läßt sich nicht mit der Sicherheit einer Regel erklären. Bei der Sensibilisierung liegt es nahe, eine Schädigung der Zelle durch die Eingriffe wie Gefrierenlassen oder Erhitzen oder durch Chemikalien anzunehmen, so daß die zerstörende Wirkung der Radiumstrahlen sich schon bei Applikation einer Dosis geltend macht, die sonst eher einen Reiz setzen würde. Anderseits kann durch fortgesetzte Einwirkung eines angemessenen Reizes eine Gewöhnung der Zelle eintreten, die sich in einer Erstarkung der Widerstandskraft gegen einen bestimmten Insult zu erkennen gibt und auch die Abwehrfähigkeit gegen die Schädigung durch Radiumstrahlen erhöht. Wenn auch vielleicht in dieser Präzisierung eine Grundlage für die Erscheinungen der Sensibilisierung und Immunisierung gegeben sein mag, so bleibt es doch weiteren Untersuchungen vorbehalten, diese Prozesse in ihren Einzelheiten aufzuklären.

2. Schädigung der bestrahlten Partie.

Bei der Behandlung der Geschwülste mit Radium oder mit Mesothorium liegt also folgender Heilplan zugrunde: unter Schonung des normalen Gewebes soll eine Zerstörung der entarteten Zellen mit nachfolgender Verödung oder im Falle der Nekrosenbildung mit nachfolgender Vernarbung erzielt werden. Es handelt

sich also um die Benutzung der elektiven Wirkung auf krankes Zellgewebe.

Für die Indikationsstellung ist der Grad der Empfindlichkeit des zu bestrahlenden Objektes außerordentlich wichtig. Leider gibt es, um diese Empfindlichkeit zu erkennen, keinerlei feststehende Regel, sondern der Therapeuth ist in jedem Falle auf seine Erfahrung und auf das Probieren angewiesen, das in einem vorsichtigen Tasten bestehen muß, in einer unter Erwägung aller Faktoren getroffenen Auswahl des geeigneten Präparates, des geeigneten Filters, der geeigneten Dosis, da durch zu geringe Dosen in manchen Fällen eine Wachstumsanregung auf die Krebszellen ausgeübt werden kann, womit wiederum die Gefahr einer Begünstigung der Metastasenbildung verknüpft sein kann, andernfalls durch zu große Dosen vor allem von denjenigen Strahlen, deren Ausschaltung vielleicht in dem gegebenen Falle durch geeignete Filter vorgenommen werden müßte, umfangreiche Zerstörungen im gesunden Gewebe verursacht werden können.

Wir wollen nicht unterlassen, hier ausdrücklich darauf hinzuweisen, daß bei der Schwierigkeit der Materie und insbesondere bei dem fast völligen Mangel an allgemeingültigen therapeutischen Grundsätzen, der wiederum auf einer vorläufig noch ungenügenden Bearbeitung dieses schwierigen Gebietes beruht, eine durch das Verfahren evtl. entstehende Schädigung dem Therapeuten nicht als ein schuldhaftes Verfehlen im straf- bezw. zivilrechtlichen Sinne angerechnet werden darf; die Methoden sind noch viel zu wenig entwickelt, als daß im allgemeinen auch bei exaktester Befolgung der in der Literatur niedergelegten Erfahrungen der Arzt vor Enttäuschungen bewahrt bleiben könnte. Zudem gibt es ebenso wie gegen die Röntgenstrahlen auch eine Idiosynkrasie gegen die Radiumstrahlen. Nur darf der Arzt nicht unterlassen, den Patienten vor Beginn der Behandlung darauf aufmerksam zu machen, daß nach dem heutigen Stande der Wissenschaft und Praxis eine sichere Verhütung unerwünschter Nebenwirkungen nicht versprochen werden kann, weil der Arzt sonst im Falle unangenehmer Begleiterscheinungen leicht und nach der Judikatur des Reichsgerichts erfolgreich zur Verantwortung gezogen werden kann.

In dieser Hinsicht sei besonders darauf hingewiesen, daß die Bestrahlung behaarter Flächen mit Haarverlust einhergehen, woraus evtl. kosmetische Nachteile sich ergeben, für welche der Arzt haftbar gemacht werden kann, wenn er nicht vorher darauf aufmerksam gemacht hat. Ferner kommt es häufiger vor, daß die Bestrahlung eine Proliferation der Blutgefäße hervorruft, die bis zur Bildung von Teleangiektasien fortschreiten und somit zum mindesten kosmetische Nachteile verursachen kann. Bei der Rechtsunsicherheit, in der der Arzt infolge der verschiedenen Auslegungen der Gesetzesbestimmungen von den verschiedenen Instanzen schwebt, ist für den Radiumtherapeuten besondere Vorsicht geboten, weil das Publikum in der Regel der Meinung ist, daß die vielgerühmten, mit dem Nimbus des Geheimnisvollen umgebenen Strahlen zauberhafte therapeutische Wirkungen ohne irgend welchen Nachteil stets und sicher hervorrufen.

3. Applikationsmethoden.

Die zur Verfügung stehenden Instrumente sind im Prinzip Radiumkapseln für die Bestrahlung kleiner Hautstellen, Radiumröhrchen zur Einführung in die Krebsgeschwulst oder zur Applikation an verborgen liegenden Geschwülsten (Speiseröhre, Magen, Harnblase, weibliche Genitalien) und flächenhafte Apparate, die aus einer Unterlage bestehen, auf welche das Radium aufgetragen und durch geeignetes Material, wie z. B. Firnis, Lack fixiert wird. Je nach dem beabsichtigten Zweck kann die Unterlage starr sein, z. B. aus Metall, Zelluloid oder weich und schmiegsam, z. B. aus Lint; mit Hilfe dieser Zubereitungen ist die Bestrahlung größerer Flächen möglich. Von verschiedenen Autoren (Bayet, Wickham, Wichmann, Einhorn usw.) sind für spezielle Zwecke Instrumente konstruiert bezw. komplette Instrumentarien zusammengestellt worden.

Je nach der Strahlengattung, die man zur Wirkung gelangen lassen will, benutzt man dünne oder dicke Filter aus Aluminium, Silber, Blei, Platin usw. Die oberflächlich wirkenden Strahlen, die leicht absorbierbaren, die Alpha- und die weichen Beta-Strahlen werden bereits durch eine Aluminiumfolie von ½ mm Dicke zurückgehalten, doch läßt ein solches Filter natür-

lich einen größeren Teil der Betastrahlen durchdringen als z. B. eine 2 oder 3 mm dicke Bleiplatte. Noch dickere Filter lassen nur die Gamma-Strahlen hindurch, mit denen man am weitesten in die Tiefe wirken kann. Die größte Tiefe, die man bei Tumoren erreichen kann, beträgt nach Exner, Apolant u. a. etwa 1 cm. Von Wickham und Degrais ist auch eine besondere Applikationsart der Methode des Feu croisé angegeben worden, die darin besteht, daß man bei entsprechend zugänglichen Tumoren von 2 oder mehr Seiten die Strahlenquelle wirken läßt, so daß die Strahlen sich in der Tiefe der Geschwulst kreuzen; man erwartet auf diese Weise eine verstärkte Wirkung speziell an den Kreuzungspunkten.

Braunstein spritzte Emanation in das Karzinomgewebe ein und verabreichte gleichzeitig innerlich radioaktives Wismut mit dem Erfolg, daß die Tumoren sich verkleinerten, ein weiterer Beweis für die zell- und gewebszerstörende Kraft der Emanation.

Außer den genannten Instrumenten hat man auch Radiumkompressen, radiumhaltige Salben, Pulver usw. angewendet, ferner intratumorale Injektionen von Radiumsalzen.

Es wäre ferner zu versuchen, ob man durch Einbringung von Emanation mittels Kataphorese auch bei Geschwülsten günstige Erfolge erzielen kann.

Sticker und Falk kombinierten die Radiumtherapie mit der Fermenttherapie. Fermenthaltige Kohle wird mit unlöslichem Radiumsalz imprägniert; das Präparat führt den Namen Karboradiogenol. Es wird unmittelbar vor dem Gebrauche mit 0,6 prozentiger Sodalösung in steriler Schale aufs exakteste verrieben und alsdann mittels nicht zu enger Nadel in den Tumor eingespritzt.

4. Histologische Veränderungen.

Es ist selbstverständlich, daß die Wirkung der Radiumstrahlen auf maligne Tumoren zunächst an Tieren studiert wurde. Man muß sich doch darüber klar sein, daß ein Krebskranker bei Anwendung dieser konservierenden Methode unter Umständen einer schweren Gefahr ausgesetzt ist, nämlich der des Weiterwucherns und der Metastasenbildung bis zum Stadium der

Inoperabilität; es kann unter Umständen der richtige Zeitpunkt eines Eingriffes versäumt werden, der, wenn er auch das Leben nicht rettet, doch den Exitus letalis hinausschieben kann. Es war deshalb erforderlich, sich am Tier zu vergewissern, daß die Radiumbestrahlung begründete Aussichten auf einen Erfolg zu bieten imstande ist.

Es sei hier nur auf die Untersuchungen von Apolant bei Mäusekarzinomen hingewiesen, die das Resultat hatten, daß von 19 erbsen- bis bohnengroßen Tumoren 11 durch Radiumbestrahlung vollständig geheilt und die übrigen 8 bis auf einen unbedeutenden Rest reduziert wurden.

Des weiteren liegen Untersuchungen von Cramer vor, der Mäusekarzinome bestrahlte, in einer zweiten Versuchsreihe in die Tumoren radioaktivierte physiologische Kochsalzlösung, in einer dritten Versuchsreihe Radiumemanation in wässeriger Lösung injizierte und durch jede dieser drei Methoden Rückbildung mehrerer Tumoren erzielte.

Histologisch ist ein Frühstadium und ein Spätstadium zu unterscheiden. Im ersteren waren die charakteristischen Merkmale: Blutextravasate, Neubildung von zellreichem Bindegewebe und von Kapillaren; im Spätstadium traten die Veränderungen der Geschwulstzellen in den Vordergrund: Vakuolenbildung, Zerfall, Nekrose (Exner, Apolant, Cramer).

Die Einwirkung von Thoriumchlorid auf das Karzinom der Mäuse und das Sarkom der Ratten studierte Caan am Ehrlichschen Institut. Er benutzte ein aus der Mesothoriumfabrikation hervorgegangenes, Spuren von Mesothorium enthaltendes Thoriumchlorid mit dem Schmelzpunkt von 820° und spritzte den Ratten eine 5 prozentige wässerige Lösung in Dosen von 0,75 ccm jeden zweiten Tag bis zu sechsmal im ganzen intratumoral ein, den Mäusen eine 2½ prozentige Lösung in Dosen von 0,5 ccm ebenfalls jeden zweiten Tag bis zu 5 Injektionen im ganzen. In der Mehrzahl der Fälle zeigte sich der Erfolg, nämlich Verflüssigung bezw. Nekrose bereits nach der zweiten oder dritten Einspritzung, und zwar heilten die Rattentumoren schneller als die Mäusetumoren, nämlich in etwa drei Wochen gegenüber 5 bis 6 Wochen bei den Mäusen.

Histologisch ergab sich, daß das Tumorgewebe in einen total degenerierten Zustand übergegangen war, entsprechend der äußerlich sichtbaren Nekrose.

Im gleichen Sinne vollziehen sich auch die histologischen Veränderungen der menschlichen Tumoren unter dem Einflusse der Radiumstrahlen. Um diese Untersuchung haben sich besonders Exner, Wickham und Degrais, Finzi, London, Czerny und seine Schüler verdient gemacht. Ersterer beschreibt die histologischen Veränderungen eines Mammakarzinomrezidivknötchens folgendermaßen: „Eine Woche nach ½ stündiger Bestrahlung eines Karzinomknotens fanden sich nekrotische Herde in der Epidermis und zahlreiche kleine Blutungen in der Kutis. Letztere waren in dem in den tiefen Schichten der Kutis liegenden Karzinomherd zu sehen, in welchem zum Unterschied von einem nicht bestrahlten Karzinomknoten die einzelnen Zellverbände nicht mehr nahe aneinanderlagen, sondern durch ein keimreiches Bindegewebe voneinander getrennt erschienen. Die Struktur der Karzinomzellen war scheinbar nicht verändert. Viel auffallender waren die Veränderungen zwei Wochen nach der Bestrahlung. Die Nekrose der Epidermis war kaum größer als bei dem früher beschriebenen Präparate. Der auch wieder in den tiefen Partien der Kutis liegende Krebsherd war in zahlreiche Inseln gesprengt, von denen jede aus 2 bis 20 Zellen bestand. In einzelnen Zellen befand sich ausgesprochene Vakuolenbildung. In Präparaten, die von einem vor 3 Wochen bestrahlten Knoten stammten, bestanden die einzelnen, ziemlich spärlichen Zellnester aus 2 bis 6 teilweise vakuolisierten Karzinomzellen, welche von reichlichem, neugebildetem, kernreichem Bindegewebe umgeben waren. Am Rande der nekrotischen Epidermis begann die Neubildung der Epithelzellen. Die Blutungen in der Kutis waren gering. 5 Wochen nach der Bestrahlung war die Neubildung des oberflächlichen Epithels bedeutend vorgeschritten, in den tieferen Schichten der Kutis lagen, umgeben von ziemlich kernreichem Bindegewebe, einzelne verstreute große Zellen, die als Karzinomzellen kaum noch zu erkennen waren. Ihre Kerne waren gequollen und nicht scharf konturiert. Das Protoplasma war spärlich, fein granuliert und unscharf begrenzt. Nach sieben

Wochen war die Epidermisierung so weit vorgeschritten, daß nur eine kleine epithellose Hautstelle zu sehen war. Karzinomzellen ließen sich in dem bestrahlten Gebiete nicht erkennen. Wohl waren noch sehr wenige, einzelliegende Zellen zu sehen, die eventuell als Reste von Karzinomzellen gedeutet werden konnten, doch waren die Kerne stark gequollen und das Protoplasma war äußerst spärlich. Eine Charakterisierung dieser wenigen Zellen war unmöglich. Das kernreiche Bindegewebe enthielt sehr zahlreiche, neugebildete Kapillaren, deren Endothel in lebhafter Proliferation war. Bemerkenswert war, daß das neugebildete Bindegewebe bereits derber wurde und so den Eindruck einer jungen Narbe machte."

Wickham und Degrais beobachteten bei Epitheliomen zunächst eine Hypertrophie der Zellen und eine Beschleunigung der Zellteilung, eine Erscheinung, die den von Hertwig experimentell gewonnenen Ergebnissen entsprechen würde. Demnach wirkt die Strahlung in erster Linie auf den Zellkern ein, den es zunächst zu einer intensiven Entfaltung seiner Funktion reizt; indes erfolgt diese Ueberstürzung nicht in normalen Bahnen, sondern führt zu Mißbildungen der neu entstehenden Kerne, so daß von vornherein eine normale Entwicklung der neu gebildeten Zellen ausgeschlossen ist. Bei entsprechender Intensität und Dauer der Bestrahlung zerfallen die Kerne und verschwinden mitsamt den Scheingebilden lebensunfähiger Zellen. Gleichzeitig findet eine entzündliche Wucherung des Bindegewebes statt sowie eine Agglomeration von Leukozyten und Nekrozyten, die im wesentlichen die Funktion der Phagozytose zu übernehmen haben.

Bei geeigneter Dosierung kann allerdings die Nekrosenbildung vermieden werden und es kommt dann nur zu einem Zerfall mit konsekutiver Aufsaugung des Geschwulstmaterials, während die normalen Zellen intakt bleiben.

Bevor die Wirkungen der Bestrahlung eintreten, vergeht eine gewisse Zeit, die Latenzperiode.

Die Ansammlung von Leukozyten hebt besonders London hervor; er weist darauf hin, daß diese nicht nur zwischen, sondern direkt in die Geschwulstzellen eindringen. Im übrigen

beobachtete auch er Erweiterung der Kapillaren, Neubildung von Bindegewebe, Hyperämie, Zellinfiltration.

Es steht also die Vermehrung des Bindegewebes im Vordergrunde; diese tritt bereits ein zu einer Zeit, wo die Geschwulstzellen noch intakt erscheinen. Das wuchernde Bindegewebe drängt sich zwischen die Zellen ein und zerlegt den Tumor in Zellgruppen, die immer von neuem durch neugebildetes Bindegewebe auseinandergesprengt werden. Im zweiten Stadium erst lassen sich die degenerativen Veränderungen der Geschwulstzellen erkennen.

Nach London befördern die Radiumstrahlen die Bildung von Granulationsgewebe. Er beschreibt einen Fall von Ileocoecalcarcinom mit Fistelbildung, die zu einer 3 bis 4 cm tiefen krebsig entarteten Wunde führt. Es wurden Bestrahlungen mit 10 mg Radiumbromid vorgenommen und zwar 5 mal je 24 Stunden. Nach der dritten Sitzung begann der Fistelkanal sich zu verengern, nach der 4. und 5. Sitzung schloß er sich vollkommen und die Haut ging in Vernarbung über.

Auch bei der Bestrahlung mit Mesothorium steht histologisch die entzündliche Reizung des Bindegewebes im Vordergrunde, während die Veränderungen der Tumorzellen erst im zweiten Stadium bemerkbar werden (Sticker).

C. Klinische Erfahrungen.

1. Radium.

Während in Frankreich besonders Wickham und Degrais sich mit der Strahlentherapie zuerst beschäftigten, gebührt das Verdienst, die Aufmerksamkeit auf diese aussichtsreiche Behandlungsmethode gelenkt zu haben, in Deutschland Lassar, der in der Berl. med. Ges. am 1. Mai 1904 seine Erfahrungen über die Radiumbehandlung bei Neubildungen und bei dermatologischen Erkrankungen vortrug. Es stand ihm 1 mg Radiumbromid zur Verfügung und er hatte mit diesem Melanome, Kankroide, Epitheliome und andere Hauttumoren, ferner Zungenkarzinome mit so gutem Erfolg behandelt, daß er schon damals

seine Ueberzeugung dahin äußerte, daß das Radium imstande sei, prinzipiell pathologische Neubildungen zur Ausheilung zu bringen und daß es ohne viel Umstände und ohne Schädigung angewandt werden könne.

Wesentlich mit auf Grund dieses Vortrages, der besonderes Aufsehen erregte, wurden von zahlreichen Seiten Nachprüfungen vorgenommen, die so gut wie durchweg den hohen Wert der Radiumstrahlen für die Behandlung der Geschwülste bestätigten. Es können hier bei weitem nicht sämtliche Publikationen aufgeführt werden, die sich mit diesem Thema beschäftigen, und wir wollen uns hauptsächlich auf die Untersuchungen und Erfahrungen beschränken, die an der Czerny'schen Klinik von Czerny, Caan, Werner, Hirschel u. a., ferner von einer Reihe ausländischer Autoren gewonnen wurden.

An der Czernyschen Klinik wurden zunächst therapeutische Untersuchungen mit Radium in Form des Radiols, und zwar als Pulver, als Salbe (5—20 %ig), als Kompressen (Einwirkungszeit 6—8 Stunden), sowie als Gaze, endlich mit Injektionen von Radiogenemanationswasser unternommen, und zwar wurden 110 Fälle, nämlich 88 Fälle von Karzinom, 9 von Sarkom, 8 von Lymphosarkom und 5 benigne Neubildungen behandelt. Nach dem Bericht von Caan (Münch. Med. Wochenschr. 1909 Nr. 42, Bruns Beiträge zur klinischen Chirurgie Band 65 Heft 3) war die Behandlung in 70 Fällen von einem nennenswerten Erfolge begleitet. Es trat in 30 Fällen von Mammakarzinomrezidiv 23 mal erhebliche objektive und subjektive Besserung ein, in 14 Fällen von Magenkarzinom, die mit Trinkkuren von Radiol bezw. Radiogenemanationswasser und mit Auflegen von Radiolkissen auf die Magengrube neben Röntgenbestrahlung und Medikamenten behandelt wurden, trat in 8 Fällen Besserung, zu mindestens des subjektiven Befindens ein, desgleichen bei Speiseröhrenkrebs, bei denen Radiumtrinkkuren und Röntgenbestrahlung angewendet wurde. Drei Fälle von Rektumkarzinomrezidiv sowie inoperablem Pharynkarzinom wurden günstig beeinflußt. Bei 2 Melanosarkomen kam es zur Verflüssigung, Verkleinerung bezw. völligem Verschwinden der Tumoren, bei Hebung des subjektiven Befindens. Weniger günstig reagierten die übrigen 7 Fälle von Sarkom, während bei den 8 Fällen von Lymphosarkomatose völli-

ges Verschwinden der Tumoren erzielt wurde. Allerdings muß hervorgehoben werden, daß in den meisten Fällen die Radiumbehandlung mit Röntgentherapie, Fulgarisation, Forestisierung und Toxinbehandlung kombiniert wurde.

Werner und Hirschel benutzten drei Radiumbromidkapseln von je 10 mg; die Kapseln wurden je in einen Gummifingerling gesteckt und mittels Heftpflasters fixiert. Sechs Fälle von bösartigen Tumoren wurden auf diese Weise erfolglos behandelt. Es handelte sich nach Angabe der Autoren um ausgedehnte Geschwülste, die besonders weit in die Tiefe reichten, so daß die Erfolglosigkeit nicht Wunder nehmen kann, zumal nach Exner, Apolant u. a. durch einfache Bestrahlung nur eine Tiefenwirkung von 1 cm erzielt werden kann. Innerhalb dieses Bezirkes, der also der Strahlenwirkung zugänglich gewesen war, waren denn auch die sonst geschilderten histologischen Veränderungen der Krebszellen unter dem Einflusse der Strahlen mikroskopisch zu konstatieren. Die Autoren kommen zu dem Schluß, daß Krebse dann nicht mit Radiumstrahlen behandelt werden dürfen, wenn ihr weiteres Fortschreiten eine operative Entfernung oder auch nur den Ersatz des durch die Operation gesetzten Defektes erschwert, oder wenn es sich um Geschwulstformen handelt, die erfahrungsgemäß leicht Drüsenmetastasen verursachen.

Nach Werner werden die besten Resultate bei Hautkarzinomen erzielt, und zwar erfolgt Heilung in 90 Prozent der Fälle; bei subkutanen Krebsen kommt es nur in 30 Prozent der Fälle zur Heilung, aber auch bei den schwersten bisher als völlig aussichtslos betrachteten Fällen führt die Radiumbehandlung in 10 bis 12 Prozent der Fälle zu einer so weitgehenden Besserung, daß sich die Patienten auf lange Zeit hinaus wohl fühlen und sich für gesund halten. Andererseits gibt es Tumoren, die nach der Radiumbehandlung rapide schlimmer werden.

Auch Caan berichtet, daß auf Bestrahlungen mit Radiumbromid bei malignen Tumoren an Heilung grenzende Erfolge bei oberflächlichen Krebsen (Hautkankroiden, Lippentumoren usw.), sogar wirkliche Heilungen erzielt wurden.

Funke ließ 20 mg Radium stunden- bezw. tagelang auf maligne Tumoren einwirken und konnte in mehreren Fällen die

Geschwülste zerstören, weshalb er auch operable Fälle mit Radium behandelt. Er fand die Reaktionsfähigkeit der Krebszellen bei den einzelnen Patienten verschieden, bei manchen tritt die Wirkung schon nach mehrstündiger Bestrahlung, bei anderen erst nach Tagen auf.

Ahrens berichtete über zwei Fälle von Karzinom, die mit Radium erfolgreich behandelt wurden. Der eine Fall war ein ausgedehntes Schleimhautkarzinom, das den harten und weichen Gaumen, die Gaumenhöhle umfaßte und auf die hintere Rachenwand überging. Patient war 65 Jahre alt.

Es wurde täglich eine halbe Stunde lang sechs Wochen hindurch eine mit 2 mg Radiumbromid beschickte Kapsel in den Mund eingelegt, mit dem Erfolg, daß die blumenkohlartigen Wucherungen bis auf einen halbpfenniggroßen flachen Rest am harten Gaumen verschwunden waren und sich wieder glatte Schleimhaut gebildet hatte. Auch dieser letzte Rest verschwand nach mehreren Wochen. Patient blieb rezidivfrei und starb nach zwei Jahren an Schlaganfall.

In einem zweiten Falle handelte es sich um ein faustgroßes inoperables Drüsensarkom am Halse bei einem 55jährigen Patienten. Die Geschwulst hatte sich durch Röntgenbehandlung verkleinert, war aber alsdann wieder stärker geworden. Ahrens applizierte nun 2 mg Radiumbromid, das in einen kleinen Glaszylinder untergebracht war und zwar wurde dieses Glasröhrchen vermittels eines Trokartstiches in die Mitte der Geschwulst gebracht und dort eingeheilt. Nach einem Vierteljahr war der Tumor nahezu vollständig verschwunden, doch konnte das weitere Wuchern nach innen nicht verhindert werden, sodaß Patient durch diesen Umstand infolge Erstickung sein Leben verlor. Die durch das Radium erreichbaren Partien des Tumors waren jedoch wesentlich zurückgegangen.

Dominici behandelte mehrere Fälle tiefliegender inoperabler Karzinome durch Einführung radiumsalzhaltiger Präparate in das Krebsgewebe, wobei Metallhülsen von Gold oder Silber die Strahlen filtrierten. Ein Lymphadenom der Parotis verschwand unter der Einwirkung von 5 mg Radiumbromid in einer

Goldkapsel von ½ mm Wandstärke und blieb bis zur Zeit der Mitteilung, sechs Monate, rezidivfrei. Ein inoperables Halssarkom, das fixiert war, wurde unter der Radiumbehandlung beweglich und konnte operativ behandelt werden. Ein Epitheliom der Parotis wurde zum Verschwinden gebracht.

Finzi sah eine an Heilung grenzende Besserung eines inoperabeln Brustkarzinomrezidivs bei einer 78jährigen Kranken durch Radium. Es bestanden mehrere walnußgroße Knoten im Zentrum der Operationsnarbe unter der Achselhöhle. Die Röntgenbehandlung hatte Erfolg, doch blieb die Patientin aus der Behandlung weg. Später wurden 5 cg Radiumbromid über der ganzen Tumormasse und in der Achselhöhle während 53 bezw. 41 Stunden aufgelegt. Es stellte sich eine Dermatitis ein. Doch waren drei Wochen nach der Applikation die Tumoren fast vollkommen verschwunden. In gleicher Weise reagierte ein 15 Jahre bestehendes Epitheliom der Unterlippe auf die Radiumapplikation.

Barcat sah ausgezeichneten Erfolg bei ausgedehntem Epitheliom; in einem Falle überragte die Geschwulst das Niveau der Haut, im anderen war die Ohrmuschel völlig ergriffen, der Erfolg war sehr gut, so daß sogar die normale Form der Ohrmuschel erhalten blieb und die gesunden Partien nicht angegriffen wurden.

Wickham und Degrais haben wohl mehr Fälle von Hautepitheliom mit Radium behandelt als irgend ein anderer Autor und verfügen demnach über eine große Erfahrung. Sie erzielten selbst in solchen Fällen eine günstige Wirkung, wo die anderen Behandlungsmethoden versagt hatten, ohne daß sie natürlich diese vor der Radiumeinführung geübten Methoden vollständig verwerfen. In einer Reihe von Fällen verhalten sich Epitheliome refraktär, ja in einzelnen Fällen wird ihre Wucherung durch das Radium geradezu angeregt oder es treten Rezidive ein. Rezidive mitten im Narbengewebe oder unmittelbar am Rande einer Radiumdermatitis bieten eine schlechte Prognose. Ebenso Epitheliome mit einem zu dünnen Unterhautzellgewebe.

In relativ gutartigen Fällen wählen die gen. Autoren sehr hohe Dosen ohne Filter oder mit Aluminiumfiltern von 0,01 bis

0,04 mm Dicke; die Bestrahlungen sind kurz, im Mittel drei bis sechs Stunden.

In den bösartigen Fällen bevorzugen die Autoren langdauernde Bestrahlungen mit ½ bis 1 mm dicken Bleifiltern. Bei den Grenzfällen verwenden sie 0,1 bis 0,2 mm dicke Bleifilter.

Obwohl die Autoren mehr als 1000 Fälle behandelt haben, betonen sie ausdrücklich, daß die soeben referierten Grundsätze keine absoluten Regeln darstellen, und daß, wie wir das bereits eingangs erwähnt hatten, jeder einzelne Fall seine spezielle Dosierung, sein spezielles Filter usw. verlangt.

Die Erfolge bei Epitheliomen, Kankroiden, kurzum bei allen gutartigen und bösartigen Wucherungen des Epithels sind im ganzen und großen günstig, vorausgesetzt, daß die Patienten rechtzeitig zur Behandlung kommen, also zu einer Zeit, wo die Wucherung noch möglichst oberflächlich sitzt, nicht in die Tiefe gedrungen ist und keine Metastasen gemacht hat. Je jünger das Krebsgewebe, desto leichter erliegt es der Strahlenwirkung.

Bei richtiger Behandlung ergibt sich als Abschluß eine glatte Narbe, die weder zu Schrumpfungen, noch zu Hypertrophien neigt; mit Recht heben W i c k h a m und D e g r a i s hervor, daß darin ein besonderer Vorteil für die Behandlung von Krebsgeschwüren in der Nachbarschaft von Körperöffnungen, an Augenlidern, überhaupt im Gesicht, gelegen ist. Da sich die Narben außerdem nur durch eine hellere Färbung von der Umgebung unterscheiden, sind die Resultate auch ästhetisch einwandsfrei. S c h m i d t hat die Entstehung von Teleangiektasien beobachtet, und von anderen Autoren wird diese Mitteilung bestätigt. Wir haben bereits darauf hingewiesen, indes sind derartige Folgeerscheinungen relativ selten, sodaß sie keinen Grund bieten, etwa die Radiumbehandlung zu unterlassen.

Besonders hervorgehoben zu werden verdient die S c h m e r z l o s i g k e i t und die B e q u e m l i c h k e i t der Behandlung. Es ist keine Narkose und keine umständliche Vorbereitung für die Operation nötig, und der Patient ist von der Angst und Sorge befreit, die ihm die Vornahme einer Operation wochen- und monatelange vorher und nachher verursacht. Die chirurgische Behandlung bedeutet zweifellos einen viel schwereren Ein-

griff als die Radiumbestrahlung, und es ist jedenfalls eine der vornehmsten Pflichten des Arztes, genau zu überlegen, ob in einem gegebenen Falle gleich operiert oder zunächst bestrahlt werden soll.

Günstige Resultate berichtet außer den genannten Autoren Nahmmacher, der die regelmäßige Anwendung der Radiumbehandlung als Nachkur nach Operationen zur Verhütung von Rezidiven empfiehlt. Exner, der Fälle von Wangen-, Lippen- und Oberkieferkarzinom erfolgreich mit Radium behandelte und jahrelang (einen Fall 7 Jahre) rezidivfrei sah, behandelte auch karzinomatöse Strikturen des Oesophagus mittels einer Sonde, an deren Spitze eine 60 mg Radium enthaltende Hartgummikapsel befestigt war; er bestrahlte 14 Tage lang täglich 20 Minuten und erzielte eine Erweiterung der Striktur. Ein geeignetes Instrumentarium für die Radiumbehandlung des Oesophaguskrebses wurde von Einhorn angegeben; er konstruierte einen geeigneten Radiumträger, bestehend aus einem Schlauch mit einem Mandrin und einer Kapsel, deren unterer Teil aus Hartgummi und deren oberer Teil aus Metall gefertigt ist, beide Hälften lassen sich zusammenschrauben. Die Kapseln kommen in drei verschiedenen Größen mit Rücksicht auf die Durchgängigkeit der Striktur in Anwendung. Nach Einführung entfernt man den Mandrin und befestigt das Schlauchende mittels Fadens am Ohr des Patienten. Das Instrument eignet sich auch zur Behandlung des Magenkrebses. Einhorn sah günstige Resultate mit täglich einstündiger Bestrahlung mit 0,25 g Radiumsalz. Die Strikturen erweiterten sich, sodaß Aufnahme halbfester Speisen möglich wurde und die Schmerzen erheblich gemildert wurden. Für den gleichen Zweck haben auch Czerny und Caan ein Instrument angegeben.

Günstige Erfolge sahen Sticker und Falk von der Anwendung des Karboradiogenols bei inoperablen Schleimhautkarzinomen, besonders bei Rektumkarzinomen; es wurde Nachlaß der Schmerzen und Hebung des subjektiven Wohlbefindens beobachtet, in einem Falle verschwanden die Stenoseerscheinungen vollständig. Sticker vertritt die Ansicht, daß die Kombination von Radium mit Ferment in der Therapie der inoperablen Geschwülste die besten Aussichten für die Zukunft habe.

Strasser und Selka, Saalfeld, Freudenthal, Jungmann, Krause, Sticker, Scholtz, Dominici, Gaultier und L'Abbé, Rems und Salmon, Danlos, Plimmer, Moullin, Brunton und Globber, Finzi, Butcher, Macdonald usw. sprechen sich im allgemeinen sehr günstig über die bei Epithelwucherungen erzielten Erfolge aus. Bei Sarkomen erzielten Beclère, Boston, Freudenthal, Monod und Segond, Exner, Finzi, Abbé mit Radiumbestrahlungen günstige Resultate. Es gehören also zum Indikationsgebiet nicht allein die bösartigen Epitheliome und Kankroide, sondern auch Sarkome, Lymphosarkome, Malanosarkome, Papillome, Warzen, Mulluscum contagiosum, Ulcus rodens und andere Wucherungen benigner oder maligner Art, die auf der Grenze zwischen Chirurgie und Dermatologie stehen.

Hierzu gesellen sich die verschiedenen Formen der Angiome und zwar sowohl oberflächliche Naevi vasculares wie subkutane Gefäßwucherungen. Nicht allein kleine Angiome, sondern auch Geschwülste, die sich über die Hälfte des Gesichtes hinziehen und in die Tiefe dringen, sind der Radiumtherapie derart zugänglich, daß man ohne Bedenken von einer spezifischen Therapie sprechen kann.

Auch in dieser Hinsicht verfügen Wickham und Degrais wohl über die größte Erfahrung; nach ihren Berichten ist es ihnen, indem sie die individuellen Dosen zur Anwendung brachten, in den meisten Fällen gelungen, die entstellenden und wegen ihrer Neigung zu bösartiger Entartung vielfach bedenklichen Geschwülste zu beseitigen.

Es seien die Hauptgrundsätze ihres Verfahrens wiedergegeben (Wickham und Degrais, Die Verwendung des Radiums bei der Behandlung der Hautepitheliome, der Angiome und der Keloide im Handbuch der Radiumbiologie und Therapie, herausgegeben von Lazarus).

1. Ganz oberfächliche Naevi sind mit schwach penetrierenden Strahlen zu behandeln, die Sitzungen sollen drei bis vier Stunden dauern und erst nach ein paar Wochen wiederholt werden; erforderlich ist eine Radiumleinwand mit 1 cg Salz von 50 000 Uraneinheiten Aktivität pro qcm.

2. Für dickere Naevi ist derselbe Apparat mit Zwischenschaltung eines 0,3 bis 0,5 mm dicken Aluminiumfilters oder von 10 Blatt dünnen Papiers 4 bis 5 Stunden anzuwenden.

3. Erektile Angiome werden mit höheren Dosen unter Verwendung von 0,1 mm Bleifilter behandelt, wenn möglich mit Kreuzfeuer.

4. Subkutane Tumoren werden mit Gamma-Strahlen in nicht irritierenden Dosen unter Zwischenschaltung von 2—3 mm dicken Bleifiltern bei individueller Bestrahlungsdauer beeinflußt.

In mehreren Fällen von zirsoiden Aneurysmen erzielten Wickham und Degrais günstige Erfolge.

Endlich ist bei den Keloiden die Radiumbestrahlung indiziert. Die Keloide sind bekanntlich fibromatöse Geschwülste der Haut, die ihren Sitz in der retikulären Schicht der Kutis haben und niemals in die Tiefe vordringen. Sie entstehen gewöhnlich bei der Heilung von Hautwunden, nach Verbrennungen, Verätzungen, Geschwülsten, Hautquetschungen usw. Auch eine spontane Form der Keloide im Gegensatz zu den Narbenkeloiden ist bekannt, doch ist der histologische Bau der beiden Formen der gleiche. Eine papillenlose, nicht verhornte Epidermis sowie eine dünne Lage gefäßreichen Bindegewebes bedecken die dichtgefaserten festen Tumoren, die relativ zahlreich sind, aber keine elastischen Fasern enthalten. Außer der Neigung zu multiplem Auftreten ist besonders wichtig die Neigung zum Rezidivieren, so daß diese Geschwülste geradezu eine crux medicorum et aegrotorum darstellen.

Um so erfreulicher ist es, daß nach vielfältigen Erfahrungen, besonders wieder nach den Erfahrungen von Wickham und Degrais, die Keloide unter der Radiumbestrahlung sich erweichen und in ein Narbengewebe umgewandelt werden, das klinisch, aber nicht histologisch einer echten Narbe gleicht. Dieser Vorgang, der in den meisten Fällen bei Anwendung kräftiger Dosen und langer Bestrahlungen unter Benutzung 2 bis 3 mm dicker Bleifilter fast regelmäßig sich vollzieht, geht ohne Nekrosenbildung vor sich und darf als geradezu ideale Behandlungsweise für diese lästigen und entstellenden, wenn auch nicht gerade gefährlichen Bindegewebswucherungen angesehen werden.

2. Mesothorium und Thorium X.

In neuerer Zeit ist neben der Radiumbehandlung die Anwendung des Mesothoriums und des Thorium X stark in Aufnahme gekommen. Für die therapeutische Anwendung sind wiederum die chemischen und physikalischen Eigenschaften maßgebend. In dieser Hinsicht ist außer den bereits früher ausführlich besprochenen Eigenschaften wichtig, daß die Betastrahlen des Mesothoriums eine etwas geringere Durchdringungskraft haben als die des Radiums und seiner Derivate, und daß sie eine Gruppe sehr leicht absorbierbarer Beta-Strahlen enthalten. Anderseits enthalten die technischen Mesothoriumpräparate stets auch Radium zu etwa 25 %.

Zur Applikation verwendet man dieselben Apparate wie beim Radium, also Kapseln, Glas- oder Metallröhrchen, Firnisplatten oder Firnislint, und zwar wählt man unter diesen Apparaten je nach den individuellen Bedürfnissen des Krankheitsfalles.

Die Auswahl der Strahlen geschieht ebenfalls durch Filter, als welche in der Regel ½ mm dünne Gummischeiben, $^1/_{10}$, ⅕, ½ und 1 mm dicke Aluminiumplatten, $^1/_{10}$ mm dicke Silberplatten, $^1/_{10}$, ⅕, ½, 1 und 2 mm dicke Bleiplatten, ferner Watte und Papier verwendet werden.

Auch die Dosierung erfolgt nach denselben Gesichtspunkten wie beim Radium. Durch die entsprechenden Filter kann man die Strahlengattung variieren, und ferner muß man die Dauer der Bestrahlung, die Stärke des Präparates usw. je nach dem zur Behandlung stehenden Fall einrichten. Bei den auf die Oberfläche gerichteten Bestrahlungen, die also ohne oder mit ganz dünnen Filtern ausgeführt werden, wird man mehrstündige Applikationen wählen, während man bei Wirkungen in die Tiefe mittels dicker Filter in der Anwendungsdauer einen viel größeren Spielraum hat.

Umfassende Untersuchungen über die Anwendbarkeit des Mesothoriums und des Thorium X sind von Czerny und Caan angestellt worden. Sie arbeiteten zunächst mit 90 mg, später mit annähernd 250 mg Mesothorium und beobachteten, daß die Oberflächenwirkung anscheinend eine stärkere ist als die des

Radiums und daß die auf die Bestrahlung erfolgende Reaktion rascher eintrat (durchschnittlich nach ca. 48 Stunden) als bei Radiumapplikationen. Dagegen hat sich in der Tiefenwirkung ein Unterschied gegenüber dem Radium nicht ergeben.

Die histologischen Veränderungen sind die gleichen wie nach der Radiumbestrahlung: lymphoide Infiltration, Bindegewebswucherung auf Kosten des karzinomatösen Gewebes, das sozusagen von den Bindegewebssträngen erdrückt wird, bis endlich nur noch eine bindegewebige Induration übrig bleibt. Bei langdauernden Strahlen der Oberfläche kommt es zu Nekrosen.

Die Applikation des Mesothoriums geschah in der Weise, daß die Kapsel mit einem 4- bis 8fachen Staniol- oder mit einem 1 bis 3 mm dicken Bleifilter mehrere Stunden, bisweilen 12 bis 24 Stunden auf die Geschwulstknoten aufgelegt wurde. Auf diese Weise wurden 32 Fälle von Mammakarzinomrezidiv behandelt und 19 deutlich subjektiv und objektiv gebessert. In vier Fällen von Mammakarzinomrezidiven wurde das Mesothorium (20 mg) in einem mit Celluloid umhüllten Silberröhrchen nach der Operation in die Wunde eingelegt und 12 Stunden, in einem Falle 24 Stunden liegen gelassen, worauf eine vermehrte Wundsekretion und eine Verzögerung der Heilung eintrat. Diese Behandlung geschah prophylaktisch, ein Rezidiv war nach 3 bis 5 Monaten nicht eingetreten.

Von sechs Gesichtskarzinomen reagierten vier günstig, indem die Ulcerationen nach filterloser Bestrahlung nekrotisch zerfielen und sich gesunde Granulationen bildeten. In vier Fällen von Oesophaguskarzinom, die mit einer 20 mg Mesothorium in einem Celluloid-Silberröhrchen enthaltenden Sonde je zwei Stunden lang bestrahlt wurden, trat eine bemerkenswerte Besserung ein, in sechs Fällen nicht.

Des weiteren wurden günstige Resultate erzielt bei Zungenkarzinom, Karzinom des Rektums, des Oberkiefers, der Lippe, des Magens, der Gallenblase, des Kehlkopfes, der Wangenschleimhaut, des Uterus, des Testis und der Hand, und zwar in einem gewissen Prozentsatz, der durch die Tatsache beeinflußt wurde, daß die meisten der Krebskrankheiten unheilbare Fälle waren, bei denen von vornherein nur auf eine Besserung

zu rechnen war. Im ganzen kamen 85 Karzinome zur Behandlung.

Auch bei Sarkom wurden in einer Reihe von Fällen gute Resultate erzielt, während sich acht Lymphsarkome durchaus refraktär verhielten. Dagegen wurden sechs Fälle von Angiom und ein Fall von Endotheliom erfolgreich bestrahlt.

In einem späteren Bericht bestätigt Caan an Hand einer Kasuistik von 250 Patienten mit malignen Tumoren, daß in weitaus der Mehrzahl der Fälle ein günstiger Einfluß erzielt werden konnte.

Gleich günstige Resultate teilt Sticker mit. Er bestrahlte Fälle von Larynxkarzinomrezidiv, Darmkarzinom, Pharynxkarzinom, Sarkom, Angiosarkom, Drüsenmetastasen nach Mammakarzinom, Mammakarzinomrezidiv, Angiom usw. mit sehr befriedigendem Erfolge: in manchen Fällen trat Verflüssigung und Nekrose bezw. völliges Verschwinden der Geschwulstknoten ein, in anderen eine Mobilisierung der vorher fixierten und verwachsenen Tumoren, an einigen inoperablen Fällen eine Verkleinerung bis zum Stadium der Operabilität.

Die Mesothoriumbestrahlung bei Karzinom ist nach Pinkuss erfolgreich, wenn es sich um direkt oberflächlich gelegene Exulzerationen oder dicht unter der Oberfläche gelegene Knoten handelt, wie beim Hautkarzinom, beim Narbenrezidiv, nach Mammaoperationen, Exulzerationen bei Drüsenkarzinom, ebenso bei inoperablem oder rezidiviertem Uterus- und Vaginal-Karzinom, wie auch bei dem der Vulva, Urethralmündung u. dergl. Eine Wirkung bei tief unter der Oberfläche gelegenen Karzinomknoten ist wohl in einem gewissen Grade vorhanden, ihr Erfolg steht aber nach Ansicht von Pinkuß weit hinter der Oberflächenbestrahlung zurück; dasselbe gilt auch für die Radiumbestrahlung.

Ebenso geeignet zur Behandlung von Tumoren erwies sich das Thorium X. Czerny und Caan experimentierten mit einer Lösung, von der ein Kubikzentimeter etwa ein Tausendstel Milligramm Thorium X enthielt und einer Aktivität von etwa 1 Million M.-E. entsprach. Da das Thorium X die Thorium-

Emanation entwickelt und diese wiederum in Thorium A, B, C und D zerfällt, steigt die Aktivität während des ersten Tages nach der Herstellung um 10 bis 20 % an, sinkt aber dann täglich um etwa 17,5 %, so daß nach drei bis vier Tagen nur noch die Hälfte Aktivität vorhanden ist.

Das Thorium X wird entweder in den Tumor eingespritzt oder intravenös appliziert oder auf beide Arten gleichzeitig, und zwar soll bei intratumoralen Thorium X-Injektionen die Lösung unverdünnt möglichst verteilt in das Geschwulstgewebe gebracht werden, wegen der Reaktion, die sich in Schmerz, Rötung und Schwellung in Intervallen von 6 bis 8 Tagen äußert; intravenös soll das Thorium X nur in verdünnter Lösung injiziert werden, am besten 1 ccm Thorium X = 1 Million M.-E. auf 10 ccm physiologische Kochsalzlösung. Der Patient soll am Tage der Injektion sich ruhig verhalten und wegen der Ausscheidung des Thorium X durch den Darm für ausgiebige Darmentleerung in den folgenden 3 bis 4 Tagen sorgen. Keinesfalls soll die zweite intravenöse Injektion vor Ablauf von drei Tagen gemacht werden. Diese Erfahrungen stimmen überein mit denen von Plesch, Kraus, Lazarus, Gudzent usw.

Zur Behandlung von Oesophaguskrebsen sowie Krebsen des Magen- und Darmtraktus hat Werner eine Verreibung von pulverisierter Kieselsäure, die Thorium X-Lösung absorbiert hat, mit Zucker in Substanz oder in Pillen (Hessel) gegeben, zur Applikation in Zerfallshöhlen eine Paste oder Plombe angewandt, bestehend aus mit Thorium X aktiviertem Kieselsäurepulver, von dem Caan mehrfach die Umwandlung von Krebsgeschwüren in gesunde Granulationen beobachtet hat. Die histologischen Veränderungen gleichen im allgemeinen denen durch die Mesothoriumwirkung hervorgerufenen.

Von den 206 mit Thorium X behandelten Fällen von Mammakarzinomrezidiv, Krebs der Speiseröhre, Rektumkarzinomrezidiv, malignen Lymphomen, branchiogenen Karzinomen usw. reagierten 40 % der Fälle günstig und in 20 % stellten sich Erfolge ein, „die über das gewöhnliche Maß der Radiumwirkung hinausgingen". Allerdings handelt es sich fast ohne Ausnahme um weit vorgeschrittene Fälle, bei denen von vornherein nur auf

eine Besserung, nicht auf eine Heilung gerechnet werden dürfte.

Es gelang, die Tumorknoten zur Verkleinerung bezw. zum fast völligen Verschwinden zu bringen und vor allem auch die heftigen Schmerzen zu lindern oder zu beseitigen. Allerdings wurde die Thorium X-Behandlung mit der Röntgenbehandlung und anderen indizierten Methoden kombiniert.

Von einigen anderen Seiten werden ebenfalls günstige Resultate mit der Anwendung von Mesothorium und Thorium X berichtet, so von Herxheimer, der einen Fall von Hautsarkomatose mit Thorium X behandelte. Es wurden alle acht Tage 1 Million M.-E. injiziert, Nebenerscheinungen traten nicht auf. Die Knötchen heilten ab, so daß die Haut des ganzen Körpers normale Beschaffenheit annahm und auch die an Stelle der abgeheilten Knoten anfänglich vorhandene Pigmentierung verschwand. Im ganzen wurden 7 Injektionen gegeben.

Allerdings ist dieser Fall nicht rezidivfrei geblieben, schon etwa 4 Wochen nach der letzten Besichtigung des Patienten kamen 4 bis 5 neue Knoten zum Vorschein, und Patient erhielt wiederum 1 Million M.-E. Thorium X. Wenige Wochen später stellten sich ausgedehnte Metastasen in den inneren Organen ein und Patient starb.

Schinkel konnte weder bei Trinkkuren noch bei Injektionen von Thorium X Erfolge bei Krebskranken erzielen, wohl aber bei Bestrahlung mit Mesothorium enthaltenden Kapseln. In einem Falle von exulzeriertem Mammakarzinomrezidiv vernarbte das Geschwür zur Hälfte und das Allgemeinbefinden besserte sich.

Falta, Krieser und Zehner behandelten 12 Fälle von Lymphdrüsentumoren teils tuberkulöser, teils sarkomatöser Natur mit intratumoraler oder subkutaner Verabreichung von Thorium X. In einzelnen Fällen war der Erfolg nicht besonders, in anderen dagegen recht gut, indem sich die Drüsenpakete bedeutend verkleinerten. Der Zeitpunkt des Eintritts dieses Erfolges ist verschieden. Die Injektionen wurden gut vertragen, Hautnekrosen nie beobachtet, und die Schmerzen durch Infiltrate können vermieden werden, indem man die Dosis nicht über 300 000 M.-E. steigert, evtl. in zwei Stellen injiziert. Die Autoren empfehlen in Intervallen von 2 bis 3 Tagen 2 bis 300 000 M.-E. zu injizieren. Hierbei wird eine stärkere Leukopenie ver-

mieden, Blutbefund, Körpergewicht und Darmfunktion muß genau kontrolliert werden; die Zahl der Leukozyten steigt evtl. bis zur Hyperglobulie an.

Kraus teilt mit, daß Lymphome am Halse durch Thorium X oft, aber nicht immer bis zum scheinbar völligen Verschwinden gebracht oder doch stark verkleinert werden, ebenso Mediastinaltumoren, die zwar nicht verschwanden, aber doch stark verkleinert wurden, wobei natürlich auch die durch die Tumoren erzeugten Symptome verschwanden (Stimmbandparese, Pleuratranssudat usw.).

Sticker hebt hervor, daß bei der Behandlung schnell wachsender Tumoren besonders große Dosen erforderlich sind; um deutliche Erfolge zu erzielen, müssen mindestens 15 mg Mesothorium zur Verfügung stehen.

3. Aktinium.

Das Aktinium ist von Czerny und Caan in die Behandlung bösartiger Geschwülste eingeführt worden. Nachdem durch Tierversuche die Unschädlichkeit der verwendeten Dosen (0,15 g Aktinium X subkutan bei Kaninchen) nachgewiesen worden war, stellten die Autoren eine Aufschwemmung von pulverförmigem Aktinium in physiologischer Kochsalzlösung her und begannen mit intratumoralen Einspritzungen der Emulsion in anfangs kleinen Dosen von 0,01 g, die bis zu Dosen von 0,1 und 0,2 g gesteigert wurden. Es machte sich gewöhnlich 8 bis 10 Stunden nach der Injektion eine bisweilen stärkere Reaktion in Form von Anschwellung, Rötung, Temperaturerhöhung bemerkbar. Die Aktivität des verwendeten Aktiniums entsprach zu je 0,01 g einem Spannungsabfall von 12 000 Volt pro Stunde, entsprechend ca. 150 M.-E., da 80 Voltabfall pro Stunde im Engler-Sieveking'schen Fontaktoskop bei 12,4 cm Kapazität 1 M.-E. entsprechen.

Es wurden im ganzen bis August 1911 20 Fälle mit Aktinium behandelt, darunter 12 Mammakarzinomrezidive, 2 Rektumkarzinome, 1 branchiogenes Karzinom, 1 Orbitalsarkom, 1 Myxosarkom des Beckens und 2 Lymphosarkome. Gleichzeitig wurde in der Regel mit Röntgen bestrahlt. Von den Mammakarzinomen reagierten

4 günstig, indem die Krebsknoten nach den Injektionen wesentlich schrumpften bezw. nekrotisierten und eine Hebung des Allgemeinbefindens eintrat. Die übrigen Fälle ergaben keine so günstigen Resultate, ebenso die Fälle von Rektumkarzinom.

In einem Falle von branchiogenem Karzinom mit Mannesfaust-großem Tumor trat bereits nach 4 Einspritzungen (im ganzen 0,2 g Aktinium) ein erheblicher Rückgang der Geschwulst und Hebung des Allgemeinbefindens ein. Patient unterbrach die Behandlung und kehrte nach einigen Wochen mit einem hühnereigroßen Rezidiv zurück, das durch Aktinium nicht gebessert wurde.

Die übrigen Fälle zeigten keine ermutigenden Erfolge.

Trotz dieser nicht besonders günstigen Resultate, die vielleicht auch auf eine ungenügende Beschaffenheit des verwendeten Präparates zurückzuführen sind, stehen die Autoren auf dem Standpunkte, daß die Verwendung des Aktiniums in der Geschwulstbehandlung herangezogen werden müßte, da es leichter und preiswerter als die meisten der in Betracht kommenden Radiumpräparate beschafft und vorteilhaft mit der Radiumbehandlung kombiniert werden könnte.

Zusammenfassend können wir über die Behandlung der bezügl. Tumoren mittels Radioelementen folgendes sagen.

Die Behandlung ist um so aussichtsreicher, je jünger der zur Behandlung kommende Tumor ist. Oberflächliche Karzinome gestatten eine bessere Prognose wie tiefgreifende Geschwülste. In einem gewissen Prozentsatz von Karzinomfällen wird Heilung im klinischen Sinne erzielt, d. h. die Krebsgeschwulst verschwindet und eventuelle Ulzerationen vernarben. In einer Anzahl von Fällen ist noch nach Jahren ein Rezidiv nicht aufgetreten. In anderen Fällen wird eine weitgehende Besserung erzielt, so daß die Patienten lange Zeit hindurch beschwerdefrei bleiben und sich gesund fühlen. Des weiteren kann die Radiumbehandlung als Vorbereitung für die Operation angewendet werden. Endlich können inoperable Karzinomfälle soweit gebessert werden, daß die Radikaloperation vorgenommen werden kann.

Prophylaktisch empfiehlt sich die Radiumbehandlung, worunter wir auch die Applikation von Mesothorium und Thorium X einbegreifen, besonders nach Operationen, um gesunde Granulationen zu erzeugen und den Eintritt von Rezidiven zu verhüten.

Die Radiumbehandlung ist nicht imstande, die Entstehung von Metastasen zu verhindern.

Bei oberflächlichen Epitheliomen, Kankroiden und anderen Epithelwucherungen reicht die Radiumbehandlung im allgemeinen aus, bei tiefliegenden oder umfangreichen Karzinomen empfiehlt sich die Kombination der Radium- oder Thoriumbestrahlung mit den übrigen Methoden der Krebstherapie.

XII. Kapitel.

Radium in der Gynäkologie.

Unsere Ausführungen über die Behandlung der chirurgischen Krebse gelten in gleicher Weise auch für die Therapie der gynäkologischen Krebse, die sonach nur hinsichtlich der Applikation und Methodik eine Sonderstellung einnehmen. Für die Behandlung der Uterus- und Adnexerkrankungen kommt nicht allein die elektive Einwirkung auf die entarteten Epithelzellen in Betracht, sondern auch die entzündungswidrige, antikongestionelle, schmerzlindernde, blutstillende Wirkung der Strahlen, die das gynäkologische Indikationsgebiet erheblich erweitern.

Nachdem von Frankreich besonders durch Oudin und Verchère, Dominici, Chéron, Tuffier usw. die ausgezeichnete Verwendbarkeit der Radiumbehandlung auf gynäkologischem Gebiete betont worden war, wurden auch in Deutschland dahingehende Untersuchungen in ausgedehntem Maße vorgenommen, und man hat sich überzeugt, daß die Radiumtherapie und ebenso die Mesothoriumbehandlung auch auf dem Gebiete der Frauenleiden ein unschätzbares, ja unvergleichliches Hilfsmittel bedeutet, das an Wirkungskraft alle bisher bekannten therapeutischen Methoden übertrifft.

Die Apparatur ist im wesentlichen die gleiche, wie sie sonst in der Bestrahlungstherapie angewendet wird; sie muß natürlich entsprechend den anatomischen Verhältnissen gewisse Eigenschaften haben, die ihre Applikation überhaupt ermöglicht. Je nach den vorliegenden Verhältnissen verwendet man starre oder schmiegsame flächenhafte Apparate, Radiumkapseln und Radiumröhrchen nebst den jeweils angemessenen Filtern. Nach Wickham lassen sich

Apparate einführen, die samt Filtern und Hülsen bis zu 12 qcm Flächeninhalt haben. Nach Einführung muß der Apparat in die geeignete Lage gebracht werden. Wickham empfiehlt, die flächenhaften Apparate mit einer hermetisch verschlossenen Bleikapsel von verschiedener Wandstärke zu umhüllen und diese Kapsel mit dünnem Kautschuk zu überziehen.

Die Radiumröhrchen dienen im wesentlichen zur Einführung in die Cervix und das Cavum uteri. Auch bei ihnen ist die Wandstärke entsprechend der Indikation zu wählen, wobei zu bedenken ist, daß bei direkter Einführung in das Geschwulstgewebe eine möglichst intensive Wirkung auch auf die Oberfläche erzielt, also eine möglichst geringe Wandstärke gewählt werden soll. Durch Kombination von Röhrchen und flächenartigen Apparaten läßt sich entsprechend der anatomischen Lagerung in geeigneten Fällen das Kreuzfeuerverfahren anwenden.

Ueber die klinischen Erfahrungen der Radium- und Mesothoriumbehandlung liegen eine Reihe von Berichten vor, aus denen wir die wichtigsten im Folgenden referieren wollen.

Edmund Falk beobachtete, daß ein Karzinom des Uterus auf die Bestrahlung mittels einer in die Vagina eingeführte Radiumkapsel von 5 mg reinem Radiumgehalt nicht wesentlich reagierte; er verwandte deshalb die Injektion unlöslicher Radiumsalze, und zwar in einer von Sticker angegebenen Form als Karboradiogen, einer Kombination von Fermenten mit Radium, gebunden an Pflanzenkohle. Wir haben über diese Zubereitung bereits berichtet (siehe Seite 270). Bei Anwendung dieses Präparates ist auf sehr exaktes Sterilisieren besonders Wert zu legen, nachdem von Laubenheimer und Caan ein Fall von Tetanusinfektion nach Anwendung des Carboradiogens gesehen wurde, dessen Genese allerdings nicht völlig geklärt ist.

Falk berichtet, daß ein Mammakarzinom der Behandlung mit Karboradiogen auf ein Viertel der Größe zurückging; die Patientin ging allerdings an Metastasen in den Lungen zugrunde. Die gleiche Krankheitsgeschichte bietet ein neunzehnjähriges Mädchen, das an einem Karzinom der Vagina und Lungenmeta-

stasen litt und ebenfalls einging. Indes konnte der Einfluß des Karboradiogens auf das Krebsgewebe bei der Obduktion festgestellt werden: es zeigte sich eine kleinzellige Infiltration sowie Neubildung von Bindegewebe, also die bekannten Erscheinungen, die wir bereits beschrieben haben.

Die angeführten Fälle waren natürlich aussichtslos, und die Applikation von Radium diente wohl mehr orientierenden Zwecken. Die Beobachtungen lassen den Schluß zu, daß in einem so weit vorgeschrittenen Stadium ein Stillstand des Karzinomwachstums durch die Bestrahlung nicht erzielt werden kann, wenn auch anatomische Veränderungen in dem karzinomatösen Gewebe eintreten, dagegen machen sich Besserungen der Symptome, besonders Verminderung der Schmerzen, der Sekretion usw. wie im allgemeinen eine Hebung des Befindens geltend.

Gleicher Ansicht ist Arendt, der das Radium besonders in denjenigen Fällen angewendet wissen will, bei denen die bisherige Therapie versagt und auch das Messer nicht mehr helfen kann. Er betont übrigens, daß in gewissen Karzinomfällen die Radikaloperation gefährlicher ist und rascher zum Tode führt, als wenn man das Karzinom in Ruhe läßt. Arendt ging so vor, daß er zunächst mit dem scharfen Löffel die Karzinommassen exkochleierte, soweit es möglich war, die entstandene Höhle ausbrannte und mit Gazestreifen, die mit 30 prozentiger Chlorzinklösung getränkt waren, austamponierte. Nach 1 bis 2 Tagen begann die Radiumbehandlung und zwar verwandte Arendt Uranpechblende. Ueber seine Resultate äußerte er sich folgendermaßen: „Es steht uns bei vorgeschrittenen Karzinomen kein besseres und wirkungsvolleres Mittel zur Verfügung als die Radiumstrahlen . . . Als einen besonders günstigen Erfolg der Radiumbestrahlung möchte ich hervorheben, daß jener die Luft verpestende widerliche Gestank, der den an Uteruskarzinom Erkrankten anhaftet, in Verbindung mit dem lästigen Fluor verblüffend schnell verschwindet. Wir brauchen diese armen Kranken nicht lange zu isolieren, nach kurzer Zeit, meist nach wenigen Tagen, werden sie unter die übrigen Patienten verteilt und verlassen vor Ablauf einer Woche bereits das Bett. Frei von Schmerzen und Beschwerden blühen sie auf, nehmen an Gewicht zu und verlieren die Todesahnung . . . . Die von der Uranpech-

blende ausgehende Radiumbehandlung des Uteruskrebses ist kein Heilmittel, aber es ist das beste Mittel, um die symptomischen Beschwerden zu beseitigen, wenigstens zu mildern."

Zur Illustration dieses überaus günstigen Urteils seien drei Krankengeschichten des Autors mitgeteilt.

1. 54 jährige Frau in desolatem Zustande, mit Kollumkarzinom, das bis in die Parametrien hineinreicht, wird nach dreivierteljähriger Behandlung soweit gebessert, daß der vorher in Zerfall begriffene Tumor vernarbt und einer weiteren Behandlung ausgesetzt wird.

2. 48 jährige Frau, kachektisch, lange Zeit hindurch an Blutungen leidend, wird nach halbjähriger Behandlung mit Uranpechblende soweit hergestellt, daß sie sich verheiratet.

3. 64 jährige Patientin, mit Zervikalkrebs, wird durch scharfen Löffel, Thermokauterisation, Ausätzen mit Chlorzink und Einlegen von Pechblende derart gebessert, daß ihr nach halbjähriger Behandlung von einem älteren erfahrenen Gynäkologen wegen vermeintlicher Heilung die Invalidenrente nicht bewilligt werden sollte.

Schücking applizierte bei einer 51jährigen Frau mit inoperablem Uteruskarzinom zwei Radiumkapseln von zwei und ein mg Radiumbromid fünf Wochen lang. Das Resultat war ausgezeichnet: Zerstörung der gesamten Krebsoberfläche bis in eine Tiefe von mehreren Zentimetern, Aufhören des jauchigen Zerfalles, Granulationsbildung, später Vernarbung.

Wickham teilt eine Kasuistik mit von einem inoperablen, einem schwer operierbaren und zwei inoperablen, aber durch die Radiumbehandlung operierbar gewordenen Uterusneoplasmen, einem Epitheliom und einem Adenosarkom mit Polypenwucherung, und seine Fälle zeigen gleichfalls, daß durch entsprechende Applikation der entsprechenden Dosis Radiumstrahlen bessere Erfolge erzielt werden können, als mit einer der bisher bekannten Methoden. Sein Urteil faßt Wickham in folgendem Satze zusammen: „Summa summarum haben wir die feste, auf eine große Anzahl von Beobachtungen gestützte Ueberzeugung, daß das Radium, vorausgesetzt, daß man es zu verwenden versteht, nicht nur eine sehr nützliche Waffe zur Bekämpfung des Gebärmutterkrebses ist, sondern daß diese Waffe

sogar, wenn sie sich, wie es sein soll, mit der Chirurgie verbindet, das beste und wichtigste, ja bisweilen selbst das einzige Palliativ bildet." (Die Anwendung des Radiums in der Gynäkologie, im Handbuch der Radium-Biologie und -Therapie von Lazarus).

Um die Anwendung der Radiumstrahlen bei Fibromen des Uterus haben sich besonders Oudin, Verchère, Fabre, Chéron und Wickham, von deutschen Autoren besonders Essen-Müller, verdient gemacht. Nach diesen Autoren empfiehlt sich eine Bestrahlung sowohl vom Uteruscavum wie gleichzeitig von den Bauchdecken aus, so daß die Methode des Kreuzfeuers zur Anwendung gelangt. Naturgemäß müssen unter diesen Umständen die Alpha- und Beta-Strahlen möglichst ausgeschaltet werden, weil es sich um die Erzielung einer Wirkung in relativ großer Tiefe handelt. Man muß also dicke Filter anwenden, für die Röhrchen ½ mm dicke Silber- oder Platinwandungen, die von einem zweiten Röhrchen aus 1 bis 2 mm dickem Blei umhüllt werden, für die flächenhafte Apparate zur Applikation auf die Bauchdecken 3 mm dicke Bleiplatten. Die Dosis Radium muß möglichst hoch sein, um eine möglichst große Quantität Gamma-Strahlen zur Wirkung kommen zu lassen. Die Dauer der Bestrahlung richtet sich nach den individuellen Indikationen; nach Wickham kann man die Apparate ununterbrochen oder in mehreren auf zwei bis drei Wochen verteilten Sitzungen 48 bis 200 Stunden lang tragen lassen. Eine besondere Annehmlichkeit hierbei ist, daß die Patientin durch diese therapeutischen Maßregeln nicht im geringsten belästigt wird und ihrem Berufe nachgehen kann.

Die Resultate sind in den meisten Fällen günstig, sie äußern sich in dem Nachlassen oder Aufhören der Blutungen, einer fortschreitenden Abnahme des Tumors und einer Hebung des Allgemeinbefindens.

Nach Chéron sind die wesentlichen Kontraindikationen der Radiumtherapie bei Uterusfibromen und -Myomen folgende: Nicht bestrahlt werden dürfen Frauen, die durch starke Blutungen sehr geschwächt sind, die ferner gleichzeitig an einer hartnäckigen Salpingitis oder an Eierstockszystoid leiden. Endlich solche, die neben dem Fibrom an Nephritis leiden; des weiteren

sollen Fibrome, die einen starken Druck auf die benachbarten Organe ausüben, sowie solche mit maligner Entartung nicht bestrahlt werden, falls die letzteren noch operierbar sind.

Daß die Bestrahlung zu einer Aufhebung nicht nur der pathologischen Blutungen, sondern auch der Menstruation führt, hat für ältere Patientinnen kein Bedenken, wohl aber für jüngere, und es muß wohl erwogen werden, ob einer jüngeren, an Myomen leidenden Patientin geraten werden darf, die operationslose Befreiung von einem Myom mit der Sterilität zu bezahlen. In dieser Hinsicht ist die Indikationsstellung ganz besonders streng und gewissenhaft zu handhaben, und man darf jedenfalls diejenigen Fälle, bei denen auf die Erhaltung der normalen Menstruation Wert gelegt werden muß, nicht deshalb mit Radium behandeln, weil ein Myom durch die Bestrahlung bequemer entfernt werden kann als durch eine Methode, die die generativen Funktionen des Uterus und der Adnexe intakt läßt.

In letzter Zeit ist die Anwendung des Mesothoriums bei gynäkologischen Erkrankungen besonders eingehend geprüft worden und zwar von Krönig, Döderlein, Bumm, Gauß und Krinzki, Voigts, Krömer u. a., deren wesentliche Resultate wir im Folgenden darstellen.

Krönig studierte an einer Gruppe von Patientinnen die Einwirkung ungefilterter oder schwachgefilterter Mesothorium- und Röntgenstrahlen, an einer zweiten Gruppe applizierte er stark gefilterte Mesothorium- und Röntgenstrahlen in sehr hohen Dosen (300, 500 und 800 mg), und zwar wurden die Bestrahlungen einerseits zur Vermeidung eines Rezidivs nach der Operation des Karzinoms angewandt, anderseits zur Heilung von noch nicht operierten Karzinomen.

Bei den nach der erstgenannten Methode behandelten Fällen (26) beobachtete er in Uebereinstimmung mit den bei der Radiumbestrahlung gesammelten Erfahrungen der Autoren ein Aufhören der Blutungen, eine oberflächliche Vernarbung, bisweilen sogar ein Beweglichwerden des Tumors.

Alle diese Fälle sind, soweit Krönig feststellen konnte, im Laufe der Zeit gestorben, so daß in der Anwendung ungefilterter oder schwachgefilterter Strahlen zwar ein vorzügliches Palliativmittel, aber kein Heilmittel erblickt werden kann.

Den prophylaktischen Einfluß im Sinne einer Verhütung von Rezidiven untersuchte Krönig in 64 operierten Karzinomfällen. Auch hierbei zeigte sich, daß die mit ungefilterten Röntgen- und Mesothoriumstrahlen behandelten 43 Fälle ein relativ ungünstige Wirkung der Strahlen erkennen ließen, indem 23 dieser Fälle an Karzinom gestorben sind. Die übrigen 21 Fälle, die mit gefilterten Strahlen und starken Präparaten behandelt wurden, bei denen also ausschließlich die Gamma-Strahlen zur Wirkung kamen, sind sämtlich noch rezidivfrei, und zwar ein Fall über 5 Jahre, zwei Fälle über 4 Jahre, 7 Fälle über 1½ Jahre. Dies Ergebnis ist sehr günstig, wenn man bedenkt, daß, wie die Statistik lehrt, nach der Operation 60 Prozent der Rezidive bereits im ersten Jahre zur Beobachtung kommen.

In weiteren 56 Fällen, die die Operation von vornherein ablehnten, wurde ebenfalls mit stark gefilterten Röntgen- und Mesothoriumstrahlen bei hohen Dosen gearbeitet. Bei 8 Fällen konnte im probeexzidierten Material der Zervix oder der Mamma Karzinom nicht mehr deutlich festgestellt werden. Desgleichen in weiteren 17 Fällen, bei denen mehrfache Exzisionen keine Krebszellen mehr erkennen ließen. Fünf Fälle starben während der Behandlung, sieben entzogen sich der Behandlung. Die längste Dauer der Rezidivfreiheit in dieser Gruppe ist 1 Jahr 4 Monate (bis zur Zeit der Publikation, Mai 1913).

Ebenso hat Bumm in einer Reihe von inoperablen Karzinomen durch die kombinierte Röntgen-Mesothoriumbestrahlung günstige Resultate erzielt, die Sekretion hörte auf, ebenso die Jauchung und Blutung. Allerdings konnte er anatomische Heilungen nicht beobachten, Verhärtungen blieben stets zurück und da, wo nach der Bestrahlung der Uterus entfernt worden war, zeigte sich der Krebs bei anatomischer Untersuchung in den tieferen Lagen.

Bumm hebt ebenfalls hervor, daß die Technik eine große Rolle spielt. Die Behandlung dauerte durchschnittlich 8 Wochen. Es wurden große Dosen bis zu 10 000 Kienböck X-Einheiten und bis 15 000 mg Mesothorium-Stunden angewandt, entweder kombiniert oder einzeln.

In einer späteren Veröffentlichung berichten Bumm und Voigts über eine größere Anzahl von Karzinomfällen des

Kollum, der Vulva und Vagina. Die durchschnittliche Behandlungsdauer betrug 55,6 Tage, die durchschnittliche Mesothoriumdosis 14690 mg-Stunden. „Diese Fälle, von denen allerdings (am 5. August 1913, Münch. med. Wochen. No. 31) noch keiner über ½ Jahr alt ist, zeigen bis jetzt alle bei der Nachuntersuchung nicht nur keinerlei Anzeichen von Rezidiven, sondern es scheint im Gegenteil, als ob die örtliche Vernarbung und Sklerose und die Besserung des Allgemeinzustandes auch ohne weitere Behandlung noch fortschreiten und wie durch eine Art von Umstimmung des Gewebes jede Neigung zur karzinomatösen Zellwucherung aufhört . . . Alle Frauen zeigen die sich nach Monaten noch unverändert gleich bleibenden weißgrauen Schorfbildungen, die aus einer dünnen Schicht nekrotischen Gewebes bestehen und darunter ein zellig infiltriertes und sklerosiertes Bindegewebe, aber darin nichts mehr von Karzinom aufweisen. Der Schorf ist bei der Verwendung gar nicht oder schwach gefilterter Strahlen stärker, fehlt aber auch nach längerer Behandlung mit dicken Filtern selten ganz. Das Allgemeinbefinden hat sich ebenso wie die örtlichen Beschwerden nach Aussetzung der Behandlung in allen Fällen rasch gebessert."

Die Autoren beobachteten bei den Patientinnen, abgesehen von der erwünschten Reaktion am Karzinomgewebe, Reizungserscheinungen in der Nachbarschaft in Form diffuser Schmerzen im Kreuz und im Leib, quälende Tenesmen im Darm mit blutig-schleimigen Entleerungen, Fieber, Schwäche, schlechtes anämisches Aussehen, Appetitlosigkeit, ja in zwei Fällen die Bildung eines blutig-serösen Exsudates im Beckenbindegewebe. Diese unerwünschten Nebenwirkungen zeigten sich bei fast allen mit größeren Dosen behandelten Kranken.

Bumm wendet daher mittlere Dosen von 150 bis 300 mg 10 bis 12 Stunden lang mit ein- bis zweitägigen Intervallen an, um dem Gewebe Zeit zur Reaktion zu lassen, und richtet die Filtrierung so ein, daß zu Beginn der Behandlung etwa 8 bis 10 Tage lang auch die Beta-Strahlen außer den Gamma-Strahlen zur Einwirkung kommen und erst mit fortschreitender Reinigung und Vernarbung des lokalen Herdes zunehmend dickere Bleifilter eingeschaltet werden, bis zum Schluß bei einer Dosierung von 200—300 mg nur noch 2 mm-Bleifilter verwendet werden.

Die gesunden Partien werden durch entsprechende Bleivorlagen geschützt. In der Mehrzahl der Fälle wurde die Mesothoriumbestrahlung mit Röntgenapplikation und zwar täglich 30 bis 50 X eine Stunde lang kombiniert.

Döderlein bestätigt die Erfahrungen von Bumm und König und betont, daß er hohe Strahlendosen bevorzugt, da die Strahlentherapie hierdurch an Zuverlässigkeit und Promptheit des Erfolges bei kürzerer Behandlungsdauer außerordentlich gewonnen habe; gerade darin bestehe der Vorzug des Mesothoriums, daß es in viel größeren Dosen zur Anwendung gebracht werden könne als das Radium. Nach seiner Ansicht müssen mindestens 100 mg Mesothorium zur Verfügung stehen, um die gewünschten histologischen Veränderungen im Karzinomgewebe zu erzielen.

Ferner behandelte Pincuss 22 gynäkologische Karzinomfälle mit Mesothorium- und Röntgenstrahlen und erzielte schon mit mäßigen Dosen Erfolge. Er ist — im Gegensatz zu Krönig, Gauss und Döderlein — der Ansicht, daß die Hauptwirkung des Mesothoriums in den Beta-Strahlen liegt. Besonders empfiehlt er die Mesothoriumbehandlung prophylaktisch zur Verhütung von Rezidiven nach der Operation. Auch Meidner und Schinkel haben von der Mesothoriumtherapie günstige Resultate gesehen.

Krömer behandelte 22 Fälle von größtenteils inoperablen Tumoren mit Mesothorium und Röntgentiefenbestrahlungen, kombiniert mit innerlicher und intravenöser Verabreichung von Thorium X, das auch in Salben und Pulverformen lokal zur Anwendung kam. Er berichtet hierüber in der 15. Versammlung der Deutschen Gesellschaft f. Gynäkologie, Halle, Mai 1913, und äußert seine Ansicht dahin, daß die Mesothoriumbehandlung kombiniert mit der Röntgentiefenbestrahlung bei allen äußeren Karzinomen der Portio, der Vagina und Vulva Dauerheilung verspricht und inoperable Fälle soweit bessert, daß zum mindesten die Jauchung und Fötor beseitigt werden, vielfach aber der Tumor soweit verkleinert wird, daß eine Operation möglich wird.

An gleicher Stelle demonstrierte Heinemann zwei inoperable Zervixkarzinome, die durch 4700 resp. 4800 mg-Stunden-Mesothorium und 600 Lichtminuten-Röntgenstrahlen soweit ge-

bessert wurden, daß Probeexzisionen kein Karzinom mehr nachweisen ließen; die Parametrien waren indes noch infiltriert.

Die Mesothoriumbehandlung der Fibrome wird besonders von deutschen Autoren geübt, während die französischen, wie wir oben bereits angeführt haben, das Radium zu bevorzugen scheinen. Ueber eine große Anzahl von Fällen berichten Gauss und Krinzki, und zwar applizierten diese Autoren das Mesothorium entsprechend der bei der Radiumbehandlung derselben Affektion besprochenen Methode von Oudin, Verchêre, Wickham usw. abdominell, vaginal, zervikal oder intrauterin, auch kombiniert.

Zur Abblendung der Alpha- und Beta-Strahlen wurden Bleifilter von nicht weniger als 1 mm Dicke angewendet und die Einwirkung der im Filter entstehenden Sekundärstrahlen durch einen Gaze- oder Gummiüberzug verhindert.

Gauss und Krinski behandelten 198 Fälle mit Mesothorium, darunter 102 Myome und Metropathien; 42 Fälle von Myomen und 38 Fälle von Metropathien wurden ausschließlich mit Mesothorium behandelt, und zwar ohne Rücksicht auf das Alter und die Entblutung der Patientinnen und auf die Größe der Tumoren. Die größten Myome überragten den Nabel um zwei Fingerbreite.

Bis zur Zeit der Veröffentlichung (Münchener Med. Woch. 1913 Nr. 25) war die Behandlung von 30 Patientinnen abgeschlossen. Es besteht bei diesen Amenorrhoe, und die Myome sind völlig verschwunden. Die durchschnittliche Dauer der Bestrahlung bis zum Eintritt der Amenorrhoe betrug bei Frauen von etwa 35 bis 40 Jahren 8 Wochen, bei Frauen von 41 bis 50 Jahren 7 Wochen, und bei Frauen über 50 Jahre 6 Wochen. Die durchschnittliche Gesamtdauer der Bestrahlungszeit war bei Myomfällen 176,5 Stunden, bei Metropathien 175,8 Stunden. Sämtliche Patienten sind arbeitsfähig und nur 3 Prozent leiden an wesentlichen Ausfallserscheinungen; in 53 Prozent der Fälle wurden Nebenwirkungen im Sinne eines „Mesothoriumkaters", gelegentlich Temperatursteigerung, Schwächeanwandlungen und Tenesmen im Bereich der Blase und des Mastdarms beobachtet.

Gleich günstige Ergebnisse erzielte Voigts, dem 400 mg Mesothorium, zu je 20 und 50 mg in silbernen Röhrchen einge-

schlossen, zur Verfügung standen. Es wurden Filter aus Silber, Platin, Blei oder Kautschuk in Stärke von 0,5 bis 1 oder mehr Millimeter Dicke verwandt, die Sekundärstrahlen durch Mattpapier und einen Gummifinger absorbiert. Vor dem Einlegen in den Uterus werden die Röhrchen mit Argentum nitricum oder Jodtinktur desinfiziert. Gewöhnlich wurde ein Röhrchen in den Uterus und ein oder zwei Röhrchen in die Vagina gelegt (Kreuzfeuer) und im Maximum 12 Stunden bestrahlt und zwar in Intervallen von 2 mal 24 Stunden.

Voigts behandelte 7 Fälle von klimakterischen Blutungen und erzielte Amenorrhoe, gleichgültig, ob die Bestrahlung von der Vagina oder vom Uterus aus erfolgte. Die Wirkung tritt durch Mesothoriumstrahlen erheblich schneller ein als durch Röntgenstrahlen, eine Bestrahlungsdauer von 400 mg-Stunden dürfen zur Herbeiführung der Amenorrhoe genügen. Erheblich hartnäckiger waren die Blutungen bei Metritis und Menorrhagie; diese bedingten größere Dosen, ehe sie zum Stillstand kamen, und kehrten nach vorübergehender Amenorrhoe wieder, allerdings in schwächerem Grade und ohne Schmerzen.

Bei Blutungen infolge Myomen und Adnexerkrankungen wurden rasch und sicher Erfolge erzielt.

Wie Wickham (l. c.) mitteilt, hat er in mehreren Fällen von chronischer Urethritis bei Frauen durch Applikation von 5 cgr. Radium in einem ½ mm dicken Radiumröhrchen, das mehrmals an jeder Stelle 30 Minuten lang belassen wurde, sehr schöne Resultate erzielt, ebenso bei Vegetationen der weiblichen Genitalien, bei Lupus vulvae, chronischer Ulceration, Pruritus vulvae. Wenn angängig, kann natürlich auch Radiumleinwand appliziert werden.

Die gynäkologischen Krankheiten, bei denen die Radium- bezw. Mesothoriumbehandlung indiziert ist, sind also im wesentlichen Karzinome, Myome und Fibrome, Metritis in ihren verschiedenen Formen, klimakterische Blutungen. Dazu kommen die etwas abseits von diesem Gebiete liegen-

den Erkrankungen, wie chronische Urethritiden, Pruritus vulvae usw. Wir haben an Hand der vorliegenden Erfahrungen gezeigt, daß die Bestrahlungstherapie bei sachgemäßer Anwendung, evtl. bei Kombination mit Röntgenstrahlen außerordentlich günstige Aussichten eröffnet und eine ungemein wertvolle Bereicherung unserer therapeutischen Methoden darstellt. Freilich muß besonders hervorgehoben werden, daß die besten Erfolge bei den inoperablen Karzinomen erzielt werden, weil in diesen Fällen der Gegensatz des subjektiven und objektiven Befundes vor und nach der Bestrahlung am stärksten hervortritt. Keineswegs darf man sich dem Irrtum hingeben, daß die Bestrahlungstherapie das Messer überflüssig mache, vielmehr ist eine sehr scharfe Indikationsstellung in jedem einzelnen Falle unbedingt notwendig, damit man nicht in die Gefahr gerät, die beste Zeit zur Vornahme einer Radikaloperation zu verlieren.

Auch in der Behandlung der Fibrome und Myome, ebenso wie der Metritis und der Adnexerkrankungen bei jugendlichen Patientinnen darf man nie außer Acht lassen, daß bei Applikation der angemessenen Strahlendosen eine schwere Schädigung des Follikelapparates der Ovarien eintritt, eine Folge, die nicht nur im Tierexperiment, sondern auch in der praktischen Anwendung bei Krankheitsfällen festgestellt worden ist.

Bei genauer Indikationsstellung und bei Beherrschung der Technik kann der Arzt auch auf gynäkologischem Gebiete mittels der Radium- und Mesothoriumbestrahlung weit bessere Resultate erzielen, als es ihm die bisherigen Behandlungsmethoden ermöglichen.

XIII. Kapitel.

Die Radiumtherapie in der Dermatologie.

Schon Lassar hob hervor, daß die Radiumbestrahlung bei einer Reihe von Hautleiden, wie Lupus, Psoriasis, Ekzem, vortreffliche Erfolge zeitige und in der Folgezeit hat sich das Indikationsgebiet noch um eine Reihe anderer Krankheiten erweitert. Es kommt im wesentlichen hierbei wieder die elektive Wirkung der Radium- bezw. Mesothoriumstrahlen auf erkranktes Gewebe in Betracht, wodurch eine Einwirkung auf degenerierte Zellen bei Schonung der normalen Zelle ermöglicht wird. Auch all die anderen Gesichtspunkte, die wir bereits entwickelt haben, nämlich die jeweils notwendige Auswahl der Strahlengattung, die sich nach der Tiefe richtet, bis zu welcher man wirken will, die Bestimmung der Dosis, die wiederum von der Filterstärke mit abhängig ist, müssen in der Dermatologie ganz besondere Beachtung finden.

Bei oberflächlich liegenden Affektionen wird man vorzugsweise die Alpha-Strahlen zur Wirkung kommen lassen, während man sie bei tieferliegenden Affektionen durch geeignete Filter abblendet, allerdings dann wegen der quantitativen Verminderung der Energie einen Ausgleich durch besonders starke Radiumpräparate schaffen muß.

Bei Applikation ungefilterter Strahlen muß darauf Bedacht genommen werden, daß Hautreizungen entstehen können, und zwar nach Verlauf einer gewissen Latenzzeit.

In kosmetischer Hinsicht ist zu bemerken, daß die Haarfollikel besonders empfindlich sind und daß ferner in manchen Fällen die Gefäße sich leicht zur Proliferation reizen lassen, so daß als sehr unerwünschte Nebenwirkung die Bildung von Teleangiektasien eintreten kann. Bei kurzen Sitzungen und angemessenen Dosen werden die etwa ausgefallenen

Haare in der Regel rasch ersetzt, bei längeren und häufigen Bestrahlungen kann sich allerdings ein dauernder Haarverlust einstellen.

Nach Schmidt ist die Bildung von Teleangiektasien eine nach stärkeren Bestrahlungen regelmäßig auftretende Spätwirkung der Radiumstrahlen. Dieser Autor beobachtete an sich selbst an 8 Stellen seines Vorderarmes 4 bis 6 Monate nach der Bestrahlung mit 5 mgr Radiumbromid, dauernd je 20 Minuten bis 1½ Stunden, das Auftreten von Teleangiektasien. Während Freund und Oppenheim die Ursache dieser Erscheinung in einer durch die Strahlung hervorgerufenen primären Erkrankung der Gefäßwandungen erblicken, neigt Schmidt zu der Ansicht, daß es sich um eine Schutzmaßregel des Organismus handelt, die sich in einer Neubildung von Gefäßen zwecks besserer Ernährung der durch die Strahlen geschädigten Gewebe einsetzt.

Die Empfindlichkeit des Gewebes wird durch eine sozusagen gewaltsame Strahlenwirkung erhöht, so daß eine anfangs vertragene Strahlendosis bei späterer Wiederholung zu evtl. nicht beabsichtigten intensiveren Wirkungen führen kann. Dagegen kann anderseits eine Gewöhnung eintreten, und zwar dann, wenn kleinere Dosen in kurzen Sitzungen appliziert werden, wodurch sich die Widerstandsfähigkeit der normalen Haut augenscheinlich erhöht.

Bei Anwendung von metallischen Filtern ist die Entstehung von Sekundärstrahlen zu bedenken, aus deren Folge eine lebhaftere Pigmentierung der bestrahlten Hautstellen einsetzen kann, so daß evtl. ästhetische Nachteile resultieren. Man kann dieser Wirkung vorbeugen, indem man die Sekundärstrahlen durch Mattpapier absorbiert. Dieses Mattpapier wird entweder in mehreren Lagen zwischen Haut und Präparat geschaltet oder nach dem Vorschlage von Heuss zwischen die einzelnen Filterplatten gelegt, indem man ein Metallfilter von z. B. 3 mm Dicke durch 6 Metallplättchen von ½ mm Dicke zusammensetzt und zwischen jedes einige Lagen Papier legt.

Die zur Anwendung gelangenden Apparate entsprechen dem beabsichtigten Zweck, der Größe des Krankheitsherdes usw. Bei vorspringenden kranken Hautpartien kann man das Kreuz-

feuerverfahren anwenden, welches eine beträchtliche Tiefenwirkung gestattet.

Allgemeine Regel soll sein, nur kurze Sitzungen zu verordnen und die Dosierung so einzurichten, daß, wenn es angängig erscheint, der auflösende, resorbierende Effekt ohne entzündliche Erscheinungen, vor allem ohne Nekrosen erreicht wird. Auch empfiehlt es sich, die gesunde Haut der Umgebung durch einen Rahmen aus Bleiblech, der durch Papier von der Haut getrennt wird, zu schützen.

Das Indikationsgebiet für die Radiumbehandlung umfaßt nach Blaschko, Schiff, Winkler, Heuss, Saalfeld, Schmidt u. a. im wesentlichen folgende Kategorien.

1. Gewöhnliche Warzen. — Junge Warzen lassen sich schon durch schwache Bestrahlung leicht beseitigen, alte dagegen verlangen eine intensive Bestrahlung.
2. Naevi und Angiome. — Ihre Behandlung wurde bereits in dem Kapitel XI besprochen.
3. Lupus vulgaris. — Die ersten Publikationen rühren von Danlos und Strebel aus dem Jahre 1900 her, und in der Folgezeit sind viele Beobachtungen über günstige Erfolge bei Lupus und Hauttuberkulose in der Literatur niedergelegt worden. Besonders hat sich Wichmann mit Lupus beschäftigt und verfügt über eine Kasuistik von 30 Fällen, die z. T. viele Jahre hindurch rezidivfrei geblieben sind. Weitere Mitteilungen liegen von Bayet, Barcat, Fabre, Morton, Houston, Wickham, Degrais, Butcher, Saalfeld, Scholtz, Blaschko u. a. vor. Alle diese Autoren stimmen darüber überein, daß infiltrierte Partien zurückgehen, die Lupusknötchen durch intensive Bestrahlung ulzerieren und alsdann in Heilung übergehen. Wichmann will die Radiumbehandlung auf diejenigen Fälle beschränkt wissen, bei denen aus gewichtigen Gründen eine Exzision der Lupusknötchen nicht angängig erscheint.

Wickham und Degrais verwenden subkutane Injektionen von Radiumlösungen oder von radioaktivem Wasser und haben bei Lupus vulgaris, wie auch bei

Lupus erythematodes Heilung erzielt. Ueber letzteres Krankheitsbild berichtet auch Blaschko in günstigem Sinne, desgleichen Esdra u. a.

4. Psoriasis. Blaschko läßt die Radiumkapsel, die mit etwa 10 mg Radium gefüllt ist, 10 bis 15 Minuten lang auf die erkrankte Hautpartie einwirken; es kommt dann nach 5 bis acht Tagen zu einer leichten, allmählich sich steigernden radioaktiven Entzündung. Die Schuppung hört auf, das Infiltrat geht allmählich zurück, und nach 3 bis 4 Wochen ist die Haut vollständig geheilt. Schiff empfiehlt 3 Sitzungen zu je fünf Minuten, als Filter Kondomgummi, während Bayet Aluminiumfilter von 0,03 Millimeter Dicke vorzieht. In manchen Fällen tritt der Erfolg noch rascher (nach etwa 10 Tagen) ein, ohne äußerlich sichtbare Reaktionen. Besonders leicht zugänglich sind die alten Fälle von Psoriasis, die sonst auf Salben usw. nicht reagieren und unter diesen wiederum die Psoriasis der Finger, der Hände, des Ellenbogens, des Gesichts, der behaarten Kopfhaut, des Knies, der Nägel und des Nagelbettes. Rezidive sind in der Regel nicht zu befürchten. Um flächenhaft zu wirken, benutzt man Radiumlint oder Radiumplatten, wie wir sie bereits beschrieben haben. Selbst alte Plaques, die jeder anderen Behandlung trotzen, verschwinden nach einer drei- bis vierstündigen Bestrahlung.

5. Ekzem. Man wende kurze Sitzungen an und zwar nicht mehr wie 3 Sitzungen in der ersten Serie. Sollen noch weitere Sitzungen stattfinden, so erst nach einem Zwischenraum von 3—4 Wochen (Schiff). Nach den bisher vorliegenden Erfahrungen gibt es keine Form des chronischen Ekzems, das durch die Radiumbehandlung nicht zu heilen wäre. Besonders wertvoll ist das sofortige Nachlassen des Juckens selbst bei den veraltetsten Fällen. Sehr günstig ist auch der Erfolg bei den in Begleitung der Unterschenkelgeschwüre auftretenden Ekzemen, die bisher auf keine Methode beseitigt werden konnten. Ebenso wichtig ist der Erfolg bei Ekzemen der Brustwarze. Kurzum, die Radiumbehandlung ist mit vollem Rechte als Spezifikum gegen alle Formen des Ekzems anzusprechen.

6. Lichen ruber planus. Nach Blaschkos Erfahrungen reagiert diese Form des Lichen nicht so günstig wie der Lichen ruber verrucosus, der sich unter energischer Bestrahlung in kurzer Zeit zurückbildet.
7. Sycosis vulgaris. In drei Fällen erzielte Blaschko nach relativ kurzer Behandlung Heilung. Auch Heuss erzielte bei Sycosis einige Male guten Erfolg. Andere Fälle versagten.
8. Pruritus. Die verschiedenen Formen des Hautjuckens, wie sie bei Ekzemen, bei Diabetes, bei Ikterus usw. vorkommen, reagieren sämtlich außerordentlich günstig auf die Radiumbehandlung. Man appliziert Radium ohne Filter, um auf die epithelialen Nervenendigungen einzuwirken, auf deren Erkrankung das Jucken beruht. Die Sitzungen müssen sehr kurz sein. Schiff empfiehlt neben der Bestrahlung die Anwendung von Emanationswasser und radioaktivem Schlamm, besonders bei Pruritus scrotalis und bei Pruritus vulvae. Ob auch bei Urticaria die Radiumbehandlung erfolgreich ist, ist noch nicht entschieden.
9. Sensibilitätsneurosen. Hier zeigt sich die schmerzstillende Wirkung des Radiums, besonders in der Behandlung des Herpes zoster, gegen dessen Schmerzhaftigkeit bisher ebensowenig ausgerichtet werden konnte wie gegen die mit Tabes, Dercumscher Krankheit usw. einhergehende Hyperästhesie. Schiff empfiehlt neben der lokalen Applikation auch das Spinalganglion des erkrankten Nerven zu bestrahlen und zwar unter Anwendung eines dicken Bleifilters. Für die lokale Applikation eignet sich außer der Radiumkapsel oder einem Radiumplättchen auch radioaktiver Schlamm oder Emanationswasser. Bei Herpes zoster cervicalis hat Wickham gute Erfolge gesehen.
10. Keloide. Ihre Behandlung ist ebenfalls bereits in Kapitel XI besprochen.

In einer Reihe von Einzelfällen verschiedener Hautkrankheiten wurden durch Radiumstrahlen günstige Erfolge erzielt, ohne daß sich daraus eine allgemeine Indikation ableiten ließe. So sah Wickham einen günstigen Einfluß, ja direkt Heilung eintreten bei syphilitischen Geschwüren, Blenor-

rhoe des Anus mit Ulzerationen, Neurodermitis, Parakeratosis psoriatiformis; besonders sind die sklerosierten Narben nach syphilitischen Geschwüren durch Radium zu erweichen. Dasselbe berichtet Butcher. Kahler behandelte einen 48jährigen Kranken mit Gesichts- und Schleimhautsklerom mit günstigem Erfolg. Bei Nasenröte ist Radium indiziert, es findet nach anfänglicher Steigerung der Entzündung Abschälung, Abschwellung und Abblassung der Nase statt (Blaschko, Esdra). Bei Rhinophyma empfehlen Wickham und Heuss die Anwendung des Kreuzfeuers, unter Benutzung von Bleifiltern von 0,1 bis 0,5 mm Dicke.

Degrais berichtet von 3 Fällen von Rhinophyma, darunter 2 der glandulären Form, die nach Applikation von Radiumsulfat durch 4 mal 12 Stunden sehr schöne Rückbildungen des Nasenumfanges und der Drüsen zeigten.

Bei Acne rosacea sah Esdra günstige Resultate. Nahmmacher berichtet, daß ein Fall von Decubitus der Ferse, der seit einem halben Jahre erfolglos behandelt worden war, durch mehrmalige Radiumbestrahlung von 1—2 Stunden Dauer geheilt wurde. Ferner heilte ein zehnpfennigstückgroßes Unterschenkelgeschwür nach Bestrahlung von 20 Minuten Dauer innerhalb 6 Tagen ohne Verband. Ebenso empfehlen Octave Claude und Levy-Fränkel die Radiumbehandlung bei Ulcus curis und zwar mit radioaktivem Schlamm.

Weiterhin wurden einzelne Fälle von Leukoplakia linguae, von Seborrhoe, Follikulitis, Lepromen, Ichthyosis, Adenoma sebaceum, Keratoma senile nach verschiedenen Berichten in der Literatur mit Erfolg behandelt, sodaß nach diesen Darlegungen das Indikationsgebiet der dermatologischen Krankheiten ein ziemlich umfassendes ist. Mit Recht faßt daher Blaschko die Bedeutung des Radiums für die Dermatologie zusammen, indem er sagt: daß das Radium in der Dermatologie völlig ungefährlich, überall hin leicht transportabel, fast an allen Körperstellen, auch auf den Schleimhäuten anwendbar, von schmerzloser Wirkung und sauberer Anwendung ist und ein vielfältig verwendbares und bei

richtiger Indikationsstellung außerordentlich wirksames Heilmittel darstellt.

Die Geschwister des Radiums, das Mesothorium und das Thorium X sind in der Dermatologie noch relativ wenig zur Anwendung gelangt. An der Neißerschen Klinik wurden von Baum die ersten Versuche mit Mesothorium angestellt und zwar mit drei Präparaten von einer Aktivität, die einer Menge von je 5 mg Radiumbromid gleichkam; das Mesothorium war in Kapseln von 10, 15 und 20 mm Durchmesser untergebracht. Eine Glimmerplatte hielt die Alpha-Strahlen zurück, dagegen nicht die Beta- und Gamma-Strahlen. Zur Behandlung kamen Naevus pigmentosus, Naevus teleangiectaticus, Kankroide und Lupus vulgaris.

In günstigster Weise äußerte sich Friedländer über die Anwendung des Mesothoriums in der Dermatologie, in der es einen vollwertigen Ersatz für das Radium darstelle.

Nach Gudzent und Winkler wirkt das Thorium X auf die Psoriasis durch Abkürzung der Krankheitsdauer günstig ein.

Weitere Untersuchungen werden zeigen, ob das Mesothorium und Thorium X die Erwartungen erfüllt, die man in Analogie zu seiner sonstigen therapeutischen Brauchbarkeit und aus der Aehnlichkeit der Eigenschaften der therapeutisch wichtigen Radioelemente auch auf dermatologischem Gebiete hegen darf.

XIV. Kapitel.

Die Radiumtherapie in der Ophthalmologie.

Die wunderbaren Eigenschaften des Radiums lassen es begreiflich erscheinen, daß man im ersten Enthusiasmus seine Wirkungen nach manchen Richtungen hin überschätzte und diesem Element therapeutische Eigenschaften zuschrieb, die erst allmählich durch die Kritik und die praktischen Erfahrungen auf das gerechtfertigte Maß zurückgeführt werden mußten. In dieses Kapitel gehört jene frohe Botschaft, die 1903 von E. S. London ausging, der in seiner Schrift „Eine Hoffnung für Blinde" im großen Publikum den Wahn erzeugte, daß durch Radium Blinde wieder sehend werden können. Es hat zweifellos nicht in der Absicht von London gelegen, eine solche trügerische Hoffnung in dieser Präzision zu erwecken, indes liebt es ja das Publikum, in seiner Kritiklosigkeit oft genug weit übers Ziel hinauszuschießen.

Wie kam nun London zu seinen Mitteilungen? Er stellte Untersuchungen zur Prüfung des Verhaltens von Blinden gegenüber den Radiumstrahlen an und fand hierbei folgendes: Blinde, die gegen Licht schwach empfindlich sind, haben sogar im Hellen bei Annäherung des Radiums an das Auge eine Lichtempfindung. Blinde, die Licht und Schatten noch unterscheiden können, jedoch die Formen der Gegenstände nicht mehr perzipieren, erkennen im Dunkeln auf einem von Radium beleuchteten Schirm die Schattenrisse der projizierten oder darauf liegenden Gegenstände. Ja London stellte sogar die Behauptung auf, daß von einem Radiumpräparat, das bis auf 10 bis 15 cm dem Auge oder der Stirn oder der Schläfe genähert wurde, eine Reizung der Retina oder eine Reizung auf das Sehzentrum im Hinterhauptlappen bei Annäherung an die Occipitalgegend ausgeübt würde, sodaß eine Lichtwahrnehmung zustande komme. Diese Retinareizung sollte

auch stattfinden, wenn die geschlossenen und verbundenen Augen mit drei oder vier übereinanderliegenden Händen bedeckt wurden.

Diese Versuche wurden von Holzknecht und Schwarz nachgeprüft und die von London beschriebene Lichtempfindung als eine einfache Wahrnehmung der durch das Radium auf dem Baryumplatinzyanürschirm erzeugten Fluorescenz und in deren Licht der Schattenrisse der Gegenstände erklärt, vorausgesetzt, daß die Lichtempfindung der Versuchspersonen noch nicht völlig erloschen war.

London hatte also die direkte Strahlung von Fluorescenz nicht unterschieden, wie besonders Greeff hervorhebt, der sich ebenfalls mit der Nachprüfung dieser Versuche beschäftigte. Bringt man ein Radiumpräparat im Dunkeln dem gesunden Auge etwa bis auf 10 cm und weniger Entfernung nahe, so nimmt das Auge für den Beobachter einen diffusen meergrünen Schein an, und ebenso wird dieser Lichtschein von dem Auge der Versuchsperson wahrgenommen, ohne daß diese angeben kann, aus welcher Richtung die Strahlen kämen. Zur Erklärung dieser Erscheinung nehmen Himstedt und Nagel an, daß die einzelnen Teile des Auges, besonders die Linse und der Glaskörper zur Fluorescenz gebracht werden, die von der Netzhaut wahrgenommen wird.

Die therapeutische Anwendung der Radiumbestrahlung in der Augenheilkunde erstreckt sich auf gewisse Erkrankungen der Haut der Lider sowie der Umgebung, der Bindehaut und der Hornhaut, während die inneren Teile des Augapfels von den Radiumstrahlen direkt nicht beeinflußt werden.

Wenn Flemming bei Erkrankungen der Regenbogenhaut ein Nachlassen der Schmerzen erzielte, so ist damit, wie er selbst hervorhebt, nicht eine objektive Besserung des Leidens an sich, sondern nur ein Symptom gemildert, auf das die Radiumstrahlen auch bei anderen Krankheiten einzuwirken pflegen.

Die Erkrankungen der Haut, bei denen die Radiumbehandlung indiziert ist, sind dieselben, die wir bereits kennen gelernt haben: Epithelwucherungen oder Gefäßwuche-

rungen, also Epitheliome, Sarkome, Haemagiome usw. Bezüglich der Behandlung dieser Erkrankungen kann auf das bereits Gesagte hingewiesen werden, und es soll nur hervorgehoben werden, daß eine ganze Anzahl von Autoren, besonders Darier, Mackenzie, Koster und Cath, Perthes, Altmann, Davidson, Kirchner, Flemming u. a. Lidkrebse durch Radiumbestrahlung beseitigen konnten. Flemming konnte auch Fälle von Haemangiom der Augenlider günstig beeinflussen.

Von den Bindehauterkrankungen reagiert das Trachom nach ursprünglichen Berichten durchaus spezifisch auf die Radiumapplikation. Hermann Cohn war der erste, der diese günstigen Erfolge beobachtete. Er bestrahlte die trachomatöse Bindehaut täglich 10—15 Minuten mit einem Milligramm Radiumbromid und erzielte völlige Heilung in überraschend kurzer Zeit.

Selinkowsky behandelte 7 Fälle von Trachom zunächst mit einem Milligramm, in den späteren Sitzungen mit 10 mg Radium. Die Sitzungen dauerten 5—10 Minuten lang und wurden 8—14 mal wiederholt. Von den 7 Fällen wurden 5 endgültig geheilt, zwei befanden sich zur Zeit der Veröffentlichung auf dem Wege zur völligen Genesung. Es hinterbleiben keine Narben, noch sonstigen Spuren, vielmehr verschwinden sämtliche Trachomkörner restlos, auch wenn die gesamte Bindehaut mit Körnern übersät ist. Bei Pannus trachomatosus sah Selinkowsky allerdings wenig ermutigende Erfolge — im Gegensatz zu Dingen, Neuschüler, Steiner und Meckelow, die eine günstige Wirkung auch auf dem Pannus beobachteten.

Dingen in Amsterdam verwandte zur Trachombehandlung 5 mg Radiumbromid, das in ein Glaskügelchen von 2 mm Durchmesser eingeschlossen war. Dieser Behälter war an einem Hartgummistift von 10 cm Länge befestigt.

Bestrahlt wurde zunächst zweimal wöchentlich eine Minute, dann zwei Minuten und so fort bis 5 Minuten. Nach Verlauf von 2 Monaten verdoppelte Dingen die Radiummenge und bestrahlte nur noch einmal die Woche; in dieser Weise erstreckte

sich die Behandlung über 4 Monate. Zerstörungen des Gewebes traten nicht ein, dagegen verschwanden bei 7 von 16 Patienten die Trachomkörner vollständig. Je jünger die Patienten, desto schneller und vollkommener trat die Heilung ein; auch in älteren Fällen trat allmählich Heilung ein, jedoch langsamer.

Endlich liegen Mitteilungen von Falta vor, der mit einem ähnlichen Apparate wie Dingen in drei Fällen von Trachom eine sogenannte „Radiummassage" ausführte und eine günstige Wirkung durch leichtes Ueberstreichen sowohl auf die Körner, wie auf das diffuse Infiltrat und den Pannus beobachtete.

Demgegenüber wird von Birch-Hirschfeld und ebenso von Jacoby berichtet, daß zwar die Follikel abflachen und Zerfall- und Schrumpfungserscheinungen — analog dem normalen lymphoiden Gewebe — sich zeigen, daß aber alsbald neue Trachomkörner entstehen. Diese Beobachtungen würden allerdings darauf hinweisen, daß wir das Radium nicht als ein spezifisches Mittel zur Heilung dieses hartnäckigen und hochinfektiösen Augenleidens ansehen dürfen. Wir müssen das a priori annehmen, wenn wir der Ansicht sind, daß Trachom eine Infektionskrankheit ist, deren Erreger ein spezifischer Kokkus ist, sodaß die von den erstgenannten Autoren beobachtete überraschende therapeutische Wirkung der Radiumstrahlen auf der bakteriziden Kraft derselben beruhen müßte. Nun wissen wir zwar, daß die Radiumstrahlen — und zwar in besonders hohem Maße die Alpha-Strahlen — die Entwicklung gewisser Bakterien hemmen oder diese ganz abtöten, aber man muß doch Jacoby beistimmen, der geltend macht, daß zur Erzielung bakterizider Wirkungen eine so hohe Strahlungsintensität erforderlich ist, wie sie sich am Auge von selbst verbietet.

An der Berliner Universitäts-Augenklinik wurde ebenfalls mit der Behandlung des Trachoms in etwa 20 alten Fällen und 50 frischen Fällen im ganzen und großen ein negatives Resultat erzielt (Flemming und Menicke), obwohl ein halbes Jahr lang zweimal wöchentlich je 10 Minuten lang mit 2 mg Radium und 12 mg Mesothorium bestrahlt wurde.

Wie die Gegensätzlichkeit der Resultate zu erklären sind, müssen wir dahingestellt sein lassen, dürfen jedoch bei der

Gewichtigkeit der Stimmen, die ungünstige Resultate vermelden, keine großen Erwartungen von der Radiumtherapie bei Trachom hegen, wenngleich es sehr erwünscht wäre, daß weitere Untersuchungen in dieser Richtung hin vorgenommen würden.

Es sei noch erwähnt, daß Lawson und Davidson bei Frühlingskatarrh und Koster und Cath bei Leukomen günstige Resultate mit der Bestrahlung erzielt haben.

Die Frage, ob Radiumstrahlen auf die Trachomerreger bakterizid wirken können, steht in einem gewissen Zusammenhang mit den Untersuchungen über die bakterizide Kraft der Radiumstrahlen auf Tuberkelbazillen, die experimentell in die vordere Kammer oder in die Hornhaut eingeimpft wurden. Flemming und Krusius stellten diese Untersuchungen an und bestrahlten mit Radium, Mesothorium und Sonnenstrahlen. Es ergab sich bei diesen Versuchen sowohl ein Einfluß auf die Tuberkelbazillen wie auch auf den infizierten Organismus; es kann nach erfolgter Infektion durch die Bestrahlung eine Abschwächung des Krankheitsverlaufes erzielt werden, wobei die Autoren eine Einwirkung besonders auf die Gefäße annehmen. Eine Vernichtung der Keime konnte auch bei mehrstündiger Bestrahlung nicht erreicht werden, dagegen eine Abschwächung. Im Vergleich zu den Sonenstrahlen erwies sich die bakterizide Wirkung der radioaktiven Substanzen als gering.

Es bleibt noch übrig, auf die therapeutische Verwendung der Radium- und Mesothoriumstrahlen bei Hornhauterkrankungen einzugehen. Zuvor ist es indes nötig, über das Verhalten der normalen Hornhaut kurz zu berichten. Ueber dieses Thema haben Chalupetzky und alsdann Flemming Untersuchungen angestellt. Ersterer fand, daß die Radiumstrahlen auf die vorderen Augenabschnitte eine Reizung ausüben, wie wir sie von den Röntgenstrahlen und den ultravioletten Strahlen kennen. Letzterer berichtet, daß sich normale Hornhaut (ebenso wie Bindehaut) von Kaninchen gegen Bestrahlung von Radium und Mesothorium wesentlich widerstandsfähiger erwies als die Haut. Eine zwanzigstündige direkte Bestrahlung der Kaninchenhornhaut mit 3 mg Radium führte zu einer Keratitis superficialis, die 6 Wochen nach der Bestrahlung abheilte,

ohne Narben zu hinterlassen. Eine dreistündige Bestrahlung mit 12 mg Mesothorium erzeugte eine vorübergehende Keratitis superficialis, während eine 8 stündige Bestrahlung tiefere Geschwüre und dauernde Narben hervorrief. Wurde die Hornhaut experimentell verletzt, so führte die Bestrahlung früher zu Narbenbildung und Heilung, als wenn nicht bestrahlt wurde.

Flemming benutzte Radium- bezw. Mesothorium-Leinwand in der Größe von 1,1 ×1,3 cm. Das Leinwandstück wurde mit einer gelatineartigen Masse überzogen, zwei Stunden lang getrocknet und in eine dünne Paraffinschicht eingebettet, alsdann mit 0,01 mm dicker Aluminiumfolie umwickelt (das Mesothorium mit 0,1 mm dicker Aluminiumfolie). Sodann wurde das Präparat in einen Rahmen gebracht, der auf einer Seite offen, auf der anderen durch eine 1 mm dicke Bleischicht geschlossen war.

Bei den Bestrahlungen der normalen Hornhaut in therapeutischen Dosen bleibt diese nach Flemming völlig intakt. Dagegen wirkt die Bestrahlung intensiv auf die kranke Hornhaut ein, und zwar hören die Schmerzen auf, Lichtscheu und Tränenträufeln läßt nach, und es tritt eine Hebung des subjektiven Befindens ein. Auch objektive Besserungen sind in fast allen Fällen von Hornhauterkrankungen zu beobachten. Flemming beschreibt einen Fall von Hornhautgeschwür, das sich trotz aller Behandlung weiter ausdehnte, dagegen nach viermaliger Bestrahlung von 4 bis 5 Minuten Dauer ausheilte, wobei eine Sehschärfe von $^{5}/_{25}$ erzielt wurde und nur geringe Trübung und Astigmatismus zurückblieb.

Besonders auffällig ist die rasche Linderung der Schmerzen, wie sie namentlich bei der Iritis und Keratitis interstitialis bemerkbar wird. Bei Ulcus corneae serpens trat in einigen Fällen innerhalb der ersten Tage nach der Bestrahlung Heilung ein. Keine wesentliche Besserung konnte bei Ulcus gonorrhoicum der Hornhaut, Keratitis ekzematosa und parenchymatosa, Leukom und Sklerose beobachtet werden.

Von Darier wird ein guter Erfolg bei Keratitis parenchymatosa berichtet.

Bei Iritis und Iridochorioiditis wird nach Flemming die Schmerzhaftigkeit durch Bestrahlung gehoben, eine Besserung der Krankheit an sich oder eine Abkürzung des Verlaufes wurde nicht beobachtet.

Druckfehlerberichtigung.

Auf Seite 38, Abschn. 4, letzte Zeile: statt amoniaklisch lies: ammoniakalischen.

Auf Seite 45, Abschn. 3, Zeile 7: statt adsorbiert lies: absorbiert.

Auf Seite 119, Abschn. 3, Zeile 8: statt Aluminumfilter lies: Aluminiumfilter.

Auf Seite 133, Abschn. 3, Zeile 3: statt waben lies: haben.

Auf Seite 265, Abschn. 3, Zeile 3: statt eingesprizt lies: eingespritzt.

Auf Seite 275, Abschn. 2, Zeile 20: statt Pharynkarzinom lies: Pharynxkarzinom.

Buchdruckerei Ed. Freyhoff, Oranienburg-Berlin.

Namensverzeichnis.

L'Abbe 281.
Ahrens 277.
Allan 28.
Altmann 312.
Angström 105, 106.
Apolant 270, 271, 276.
Arendt 293.
Armstrong 23, 216, 219, 221, 222, 225.
Aschkinass 119, 178.
Aschoff 34, 173.
Auburtin 191.
Auerbach 202.
Augustin 224.

Baetjer 132.
Balthazard 124, 138, 263.
Barcat 262, 278, 305.
Barisani 242.
Barlow 90, 131.
Bauer 131.
Baum 309.
Baumann 120, 122, 123.
Bayet 269, 305, 306.
Beattie 21.
Bechold 189.
Bechterew 215.
Becke 32, 33.
Beclère 175, 281.
Becquerel, Henri 20, 32, 45, 68, 72, 73, 78, 80, 82, 86, 92, 124, 236.
Benczur 190, 203.
Bennewitz 152, 154, 185.
Bergell 114, 115, 116, 163, 246.
Bergwitz 158.
Bernheim 224.
Bernstein 190, 216, 220.
Berzelius 54.
Bickel 114, 115, 116, 117, 130, 138, 139, 151, 162, 163, 180, 182, 183, 211, 231, 233, 246.
Birch-Hirschfeld 313.
Blanc 37, 57.
Blaschko 305, 306, 307, 308.
Boston 281.
Boden 137, 203, 260.
Bohn 131, 132.
Boltwood 29, 46, 105.
Bouchard 124, 138, 237.
Braasch 198.
Bragg 73, 74, 86, 88.
Braunstein 114, 115, 163, 178, 270.
Brecht 47.
Brieger 191.
Brill 99, 178, 191, 229.
Brugsch 186, 198.
Bruns 275.
Brunton 281.
Bulling 222.
Bumm 296, 297, 298, 299.
Burke 119.
Butcher 281, 305, 308.
Buxbaum 237.

Caan 24, 177, 184, 271, 275, 276. 280, 283, 285, 286, 288, 292.
Cameron 49.
Caspari 119, 178.
Cath 312, 314.
Chalupetzky 314.
Chancourtois 17.
Cheron 224, 291, 295.
Classen 82.
Claude, Octave 308.
Mc. Clelland 85.
Cohn, Hermann 312.
de Courmelles 237.
Cramer 271.
Crookes 45, 71, 93.
Curie 21, 27, 29, 30, 32, 36, 46, 48, 53, 68, 70, 71, 78, 80, 83, 84, 85, 87, 92, 96, 99, 101, 103, 105, 106, 111, 120, 138, 148, 247 263.
Czerny 24, 128, 184, 265, 272, 275, 280, 283, 285, 288.

Dadourian 39.
Dalton 153.
Daulos 281.
Danne 45.

Danysz 114, 115, 120, 135, 263.
Darier 24, 237, 312, 316.
Darms 190.
Dauphin 130.
Dautwitz 123, 130, 226, 238.
Davidsohn 203, 312, 314.
Davis 48.
Debierne 21, 39, 45, 60, 62, 63.
Degrais 24, 237, 270, 272, 273, 274, 278, 279, 281, 282, 305, 308.
Delamasse 191.
Demarçay 47.
Dewar 106.
Dingen 312, 313.
Dixon 120.
Döbereiner 17.
Döderlein 296, 299.
Dölter 48.
Domarius 192.
Dominici 177, 224, 262, 277, 281, 291.
Dorn 50, 81, 120, 122, 123.
Duane 76, 84.
Dubois, Raphael 119.

Eckel 242.
Edelstein 116, 163.
Edwards 48.
Eichholz 158, 161, 162, 164, 165, 222, 238.
Einhorn 269, 280.
Elster 21, 28, 39, 57, 157, 158, 243.
Engelmann 139, 151, 168, 170, 171, 178, 191.
Engler 100, 109, 207, 288.
Esdra 308.
Essen-Müller 295.
Eve 28, 36, 85, 87.
Exner 47, 128, 260, 261, 270, 271, 272, 276, 280, 281.

Fabre 175, 237, 295, 305.
Falk 270, 280, 292.
Falta 23, 130, 146, 168, 183, 184, 189, 208, 209, 211, 215, 223, 224, 229, 238, 239, 249, 287, 313.
Farr 131.
Finzi 24, 137, 236, 272, 278, 281.
Fleischmann 153.
Flemming 311, 312, 313, 314, 315, 316.
Fofanow 188, 214.
Fresenius 34.
Freudenthal 281.
Freund, N. 119, 208, 209, 223, 238, 239, 264, 304.
Friedberger 120.
Friedländer 309.
Fuchs 190.
Funke 276.
Fürstenberg 238, 249.

Garrod 186, 198.
Gaultier 281.
Gauss 140, 296, 299, 300.
Geiger 76.
Geitel 21, 28, 39, 57, 112, 157, 158, 243.
Geppert 190.
Giesel 21, 39, 50, 61, 68, 90, 124, 184.
Gilmann 132.
Glimmer 131.
Globber 281.
Gockel 39.
Godlewski 61, 83.
Goldberg 204.
Goldstein 62.
Gordon 180.
Görges 211.
Görner 206, 207, 214, 252.
Gottlieb 238.
Grabley 173, 174, 194, 254.
Greef 311.
Greinacher 101, 108, 110.
Grin 222.
Grund 228.
Gudzent 149, 150, 153, 154, 155, 156, 160, 163, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 200, 209, 210, 213, 214, 238, 249, 286, 309.
Guilleminot 130.

Hahn, Otto 21, 38, 46, 55, 56, 57, 59, 61, 62, 73, 74, 83.
Halkin 261.
Haret 175.
Haschek 47.
Hasse 173.
Haupt 238.
Heils 266.
Heinecke 137, 140, 165, 227, 259.
Heinemann 299.
Henri 114.
Henriot 62.
Henry 153.
Hertwig 129, 132, 133, 134, 260, 273.
Herxheimer 287.
Heß 45, 105, 106.
Hessel 286.
Heuss 305, 307, 308.
Himstedt 243, 311.

Hinrichs 17.
Hirschel 275, 276.
Hirschfeld 231, 232.
His 155, 160, 170, 183, 185, 186, 201, 212, 232.
Hoffa 207.
Hoffmann, W. 120.
Holzknecht 261, 311.
Königschmidt 103.
Horowitz 137.
Horsley 137, 236.
Houston 305.
Huggins 90.

Jaboin 177.
Jacoby 313.
Jacoby-Solms 116.
Jansen 123, 204, 205, 209, 214, 238.
Jaquet-Stähelin 190.
Jochmann-Müller 116.
Joly 28, 36.
Jorissen 48.
Jungmann 281.

Kahler 308.
Kahn 130.
Kailan 49.
Kalmann 123.
Karczag 183, 192, 193 220.
Kaufmann 82.
Keetmann 182, 192, 193.
Kelvin, Lord 21.
Kemen 23, 154, 161, 163, 164, 165, 169, 170, 171, 172, 186, 188, 203, 222, 238.
Kenji-Kojo 182.
Kerb 155.
Kiamzim 191.
Kikkoji 189, 190, 216, 220, 255.
King 130.
Kionka 154, 157.
Kirchner 312.
Klaproth 18, 43.
v. Klecki 199.
Kleemann 73, 87.
Klemperer 189, 231, 232.
v. Knaffl-Lenz 154, 186, 189.
Kohlrausch 35, 104, 158, 171, 175.
König 299.
Koernicke 130.
Koster 312, 314.
Kraus 200, 228, 251, 286, 288.
Krause 281.
Krieg 189, 192.
Krieser 211, 224, 229, 287.
Krinzki 296, 300.
Krömer 296, 299.
Krönig 140, 296, 297, 299.
Krüger 213.
Krusius 314.

Laborde 105, 247.
Lachmann 245, 250.
Laqueur, Aug. 157.
Laqueur, W. 158, 210.
Lassar 274, 303.
Laska 153.
Laubenheimer 292.
Lawson 127, 314.
Lazarus 152, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 163, 165, 168, 169, 171, 172, 173, 176, 181, 182, 184, 185, 186, 189, 198, 211, 234, 249, 286, 295.
Leidner 207.
Lenard 80.
Lenz 264.
Levin 61, 62.
Levy-Fränkel 308.
Levy, M. 25, 225.
Leyden, E. von 21.
Linser 266.
Lippert 218.
Löhe 139, 183.
London 114, 135, 136, 137, 138, 140, 165, 227, 236, 259, 260, 262, 264, 272, 273, 274, 310, 311.
Löwenthal 116, 118, 123, 149, 150, 153, 157, 163, 169, 170, 188, 189, 191, 195, 200, 221, 238, 243, 249, 251.
Löwy 192, 193, 194, 220.
Lungwitz 187, 217.

Maaß 192, 193.
Macdonald 281.
Mache 95, 105, 110, 112, 252.
Mackenzie 60, 312.
Makower 81.
Mandel 198.
Mannes 203, 238.
Marckwald 53, 154, 185.
Marcus, L. 207.
Marinescu 238.
Matout 130.
Mayer, Robert 19, 114, 158, 175.
Meckelow 312.
Meidner 59, 299.
Meitner 62, 83.
Melikoff 44.
Mendel 204.
Mendelejeff 17, 18.
Menicke 313.

Mesernitzky 127, 128, 129, 134, 164, 169, 170, 186, 188, 214, 263.
Meyer, Lothar 17, 53, 68, 95, 105, 110, 112, 252.
Miethe 48.
Mills, Persival 138.
Minami 115, 117.
Minett 118.
Monod 281.
Moritz 203.
Morton 305.
Moullin 78, 281.
Müller 116, 173.
Musehold 182.

Nagel 311.
Nagelschmidt 158, 171, 201, 221, 229.
Nahmmacher 280, 308.
Neisser 309.
Neuberg 114, 115, 127, 128.
Neumann 158, 161, 171, 172, 202.
Neuschüler 312.
v. Neusser 23, 149, 200, 222, 238, 251.
Newlands 17.
Niederhuber 242.
v. Noorden 23, 183, 184, 189, 199, 208, 209, 215, 216, 220, 221, 225, 228, 229, 230, 231, 233, 234, 239, 240, 244, 249.

Obersteiner 137, 236.
Okada 236.
Olszewski 116.
Oppenheim 304.
Orlow 49.
Ostwald, Wilhelm 19.
Oudin 291, 295.
Owens 50, 74.

Pappenheim 139, 193.
Paracelsus 242.
Päßler 191, 204, 205, 252.
Peligot 18, 43.
Pellini 49.
Perrin 80.
Perthes 131, 312.
Petit 177.
Petraschek 33.
Pfeiffer 120.
Pinkuß 285, 299.
Pissarjewsky 44.
Plate 158.
Plesch 154, 155, 156, 160, 168, 170, 183, 192, 193, 194, 220, 221, 228, 231, 232, 286.
Plimmer 281.
Poincaré, Henri 20.
Pohl 114.
Poulssen 220.
Puntoni 224.

Ramsauer 177.
Ramsay 21, 38, 49, 119.
Raymond 237.
Reicher 218, 264.
Reinwaldt 180.
Rems 281.
Rheinboldt 123.
Riedel 158.
Ringer 48.
Röntgen 20.
Royds 76.
Rumpel 207.
Runge 47.
Rünne 47.
Russell 85.
Rutherford 21, 27, 36, 46, 48, 50, 51, 52, 55, 58, 59, 68, 70, 71, 74, 75, 76, 78, 80, 83, 104.

Saalfeld 281, 305.
Sachs 222.
Sagen 121.
Salle 192.
Salmon 281.
Salzmann 224.
Schaper 131, 132, 134.
Schiff 305, 306, 307.
Schinkel 287, 299.
Schirnoff 122.
Schittenhelm 186.
Schmidt 21, 83, 213, 279, 304, 305.
Schmidt H. W. 83.
Schnee 175.
Scholtz 120, 137, 138, 281, 305.
Schoukowski 236.
Schücking 294.
Schultze 238.
Schütze, Albert 124, 178.
Schwarz 114, 125, 126, 129, 130, 132, 134, 267, 311.
v. Schweidler 53, 68, 105, 106.
Segond 281.
Seldin 138.
Selinkowsky 312.
Selka 158, 204, 238, 239, 281.
Sharps 180.
Sieveking 100, 109, 207, 288.
Silbergleit 190, 220, 255.
Smoluchowski 21.
Snyder 36.
Soddy 27, 55, 58, 60, 85.

Solms 116.
Sommer 158, 239, 243, 244, 248, 251.
Soupault 24.
Spartz 164, 165, 167.
Stähelin 190.
Steffens 174, 194, 254.
Stein 212.
Steiner 312.
Stép 32, 33.
Sticker 257, 263, 270, 274, 280, 281, 285, 288, 292.
Strasburger 154, 161, 162, 163, 164, 165, 167, 168, 170, 172, 175, 176, 202, 250.
Strasser 158, 204, 238, 239, 281.
Strassmann 120, 262.
Strutt 28, 29, 36, 37, 80.
Suess 123, 224.
de Szendeffy 224.
Szilard 30, 38, 45.

Tagle, Prado 139, 231.
Thaler 137.
Thies 262.
Thomson 243.
Tizzoni 122, 124.
Townsend 87.
Tracy 180.
Treves 24.
Tuffier 291.
Tuma 205.

Vaccari 49.
Valentiner 120, 122, 123.
von den Velden 192.
Verchere 291, 295.
Villard 68, 84.
Voigts 296, 297, 300, 301.

Walkhoff 124.
Warburg 203.
Weidenbaum 218.
Weidig 34.
Weil 116.
Wellmann 203, 238.
Werner 24, 120, 121, 124, 128, 129, 134, 262, 264, 265, 266, 275, 276, 286.
Wichmann 177, 237, 260, 269, 305.
Wickham 24, 118, 119, 120, 158, 237, 264, 269, 270, 272, 273, 274, 278, 279, 281, 282, 291, 292, 294, 295, 301, 305, 307, 308.
Wiechowsky 154, 186, 189.
Wilson 28, 100, 101.
Winkler 130, 305, 309.
Winternitz 169.
Wohlgemuth 114, 115, 116, 126, 127, 163.
Wolff 121, 224.
Wollenberg 207.
Wulf, Th. 97, 103.

Zehner 130, 178, 189, 191, 211, 224, 229, 287.
Ziegler 189.
Zimmern 175, 237.
Zuntz 190.
Zwark 128.

Sachregister.

Abbauprodukte 155.
Abklingungskurve 111.
Absorption d. Alphastrahlen 70, 72, 73.
Absorption d. Betastrahlen 79, 80, 82.
Absorption d. Gammastrahlen 84, 85, 87.
Absorption d. Emanation 161.
Absorptionsfähigkeit 260.
Absorptionskoeffizient 83, 84, 85, 109, 154.
Abtreibungsmittel 234.
Acne 24, 308.
Adenosarkom 277.
Adnexerkrankungen 25, 296.
Adrenalin 264.
Affinität der Emanation zum Blute 153.
Agglutination 119, 121, 178.
Aktinum 19, 21, 39, 60, 145, 235, 288.
Aktinium-Emanation 61.
Aktinium-Familie 66, 187.
Aktinium-X 61, 176, 184.
Aktinium-X-Therapie 211.
Aktinium-Isolierung 40.
Aktinium-Salze 111, 112.
Aktivator 202, 219.
Aktiver Niederschlag 50, 62, 63, 155, 163, 169, 172, 173, 174, 181, 185.
Aktivierung d. Fermente 115, 127.
Aktivierung der Heilquellen 172, 174, 241, 244.
Albuminurie 221.
Alpha-Strahlen 67, 70, 72, 87 ff.
Aluminiumblättchen 98, 100, 158.
Alveolare Erkrankungen 225, 226.
Amenorrhoe 300.
Amphibien 131.
Analgesierung 175, 176, 200, 202, 204, 207. 210, 212, 236.
Anaemia perniciosa 23, 182, 228, 231.
Aneurysma 282.
Angina pectoris 221.
Angiom 24, 259, 281, 285, 305.
Anionenbehandlung 174.
Ankylosen 199.
Antibakteriell 121, 122.
Antitoxische Fermente 124.
Anwendungsform 26.
Apparate 150, 164, 179.
Applikation 22, 125, 140, 145, 147, 159, 175, 181, 185, 194, 202, 212, 283.
Applikationsmethoden 135, 149, 162, 175, 179, 269.
Argon 18, 31.
Arteriosklerose 22, 220.
Artesiche Brunnen 131.
Arthritiden des Kindesalter 200.
Arthritis 197, 200.
Arthritis gonorrhoica 203.
Arthritis deformans 22, 201, 203.
Ascaris megalocephalus 131.
Assimilation 217.
Asthma bronchiale 223.
Asthma nervosum 222.
Asystolie 221.
Aetherimpulse 88.
Atmungsflasche 167.
Atomgewichte 17, 18, 50.
Atophan 213, 214.
Auergesellschaft 179.
Aufnahme der Emanation 162.
Auge 230, 237, 311.
Augenleiden 25, 237, 311.
Ausatmungsluft 152, 154.
Ausfällung des Radiums 61.
Ausgangsmaterial 38.
Ausscheidung der Emanation 155. 156, 158, 161, 162.
Autolyse 114, 115, 116, 118, 129.
Azetessigsäure 219.
Azeton 219, 220.
Azoospermie 138.

Baden-Baden 57, 243.
Bäder 16, 169, 172, 173, 174, 203.
Bakterielle Zersetzung 118 ff.

Bakterien 118, 119, 123, 259.
Bakterizide Wirkung 118, 119, 121, 122, 124, 126, 224, 313.
Baryumgehalt 31.
Basedowsche Krankheit 234.
Bauchdeckenbestrahlung 295.
Becquerel-Strahlen 20.
Bestrahlung 128, 129, 133, 236, 283.
Bestrahlungstherapie 21, 24, 260.
Beta-Strahlen 80, 81, 82, 83, 84, 87 ff.
Bindegewebe 282, 298.
Bindegewebs-Zellen 262.
Bioblastische Vorgänge 134.
Biologische Konstitution 129.
Biologische Versuche 49, 260.
Biologische Wirkung 49, 113, 114, 125, 259.
Blinde und Radium 311, 312.
Blut arterielles 160, 161, 162.
Blutbild 191, 233.
Blutdruck 193, 220.
Blut-Emanationsgehalt 161, 163.
Blut-Fermente 163.
Blut-Gefäße 163.
Blut-Gerinnung 192.
Blut-Harnsäure 189, 198, 213.
Blut-Krankheiten 227.
Blutkörperchen 191, 192, 209, 227 ff.
Blutstillung 291, 301.
Blutungen 291, 301.
Bodenluft 108, 111, 149, 205, 241.
Brambach 34, 153, 207, 244.
Brandwunde 124.
Bronchitis 222.
Brunnengeist 195.
Brutschrank 126.

Chemische Eigenschaften 164.
Chemische Imitation 128.
Chemische Wirkungen 128 ff.
Chirurgie-radiumtherapeutische 280.
Choleravibrionen 120, 123, 124.
Cholin 121, 128.
Chromatin 134.
Clysmen 162.
Colchicum 213, 214.
Colorado 35.
Crookes'sche Röhren 70.
Curieeinheit 147, 148, 164.

Dalton'sches Gesetz 153.
Darmausscheidung der Emanation 159.
Dauer der Bestrahlung 277, 295, 305.
Dauer der Kur 205.
Dekubitus 308.
Depotbehandlung 177.
Depotbildung 183.
Dermatitis, Emanations- 263.
Dermatomykosen 124.
Desensibilisierung 264.
Desinfektion 301.
Destruktive Veränderungen 49, 210.
Devargefäße 105.
Diabetes mellitus 22, 44, 187, 216, 217, 218, 225.
Diastase 115, 116, 117.
Diathese, harnsaure 22, 197, 216.
Diffuse Strahlung 84.
Diffusion der Emanation 32, 159, 160.
Diphtheriebazillen 123.
Diurese 191, 221.
Dolomit 32.
Dosierung 26, 145, 149, 150, 159, 164, 165, 179, 180, 183, 185, 211, 212, 232, 278, 299.
Drüsen 182, 224, 230.
Drüsenkarzinom 24.
Duodenumeinführung 162.
Durchdringungsvermögen 71, 80, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 140.
Dyspnoe, kardiale 193.

Edelgase 31.
Eidotter 125, 127.
Einführung der Emanation 158.
Eisenmoor in Franzensbad 253.
Eisenquelle, emanationshaltige 224.
Eiweiß 126.
Ekzem 24, 302.
Elektive Wirkung 127, 129, 130, 134, 141, 233, 259, 303.
Elektrische Bäder 173.
Elektrische Ladung 70, 76, 79, 86, 87, 93, 173.
Elektrolyse 46.
Elektrometer 94, 95, 97, 103.
Elektrometrische Messung 80, 93.
Elektroskop 80, 94, 95, 98, 99, 100, 101, 107, 109, 158.
E. S. E. Elektrostatische Einheit 76, 78, 81, 94, 95, 106, 123, 148, 228.
Elementarquantum 103.
Elimination 157, 198.
Elster, Bad 208.

Emanation-Abklingungsgesetz 52.
Emanation-Absorption 51.
Emanation der Atmosphäre 33, 107.
Emanation-Atomgewicht 51.
Emanation-Bäder 169, 170, 171, 173.
Emanation-Bestimmung 80, 93 ff.
Emanation-Bildung 48, 50.
Emanation-Dichte 253.
Emanation-Diffusion 32, 159, 160.
Emanation-Eigenschaften 51.
Emanationen 18, 28, 223.
Emanation und Fermente 115,
Emanationsgehalt der Luft 33, 107, 253.
Emanationsgehalt der Quellen 123, 243.
Emanation-Halbwertzeit 51.
Emanation - Inhalation, Trinkkur 150.
Emanation-Kondensation 94, 100, 101 ff.
Emanation-Kur (s. auch sub Bad, Injektion) 149, 150, 161, 169.
Emanation-Löslichkeit 51, 52, 111.
Emanation-Messung 51, 101, 106, 111, 112, 153.
Emanation-Messungseinheit 101.
Emanation-Packung 175, 176, 181, 200, 224.
Emanation-Präparate 35.
Emanation in Quellen 109.
Emanations-Raum 205.
Emanations-Spektrum 50.
Emanations-Therapie 159, 222.
Emanation-Trinkmethode 159, 160, 161, 162, 164.
Emanation - Umwandlungsprozeß 17, 50, 51.
Emanation-Ursprung 48, 50.
Emanation - Verlust durch Ausatmung 156.
Emanation-Wasser 109, 162, 222.
Emanatorien 107, 150, 153, 159, 198.
Emanatorium-Schäden 160.
Embryonale Prozesse 132.
Embryonale Stadien 113, 131, 132.
Emission von Strahlen 105 ff.
Endocarditis 221.
Endothelien 285.
Endwert 107.
Energieäußerungen 88.
Energie, radioaktive 37.
Engler - Sievekingscher Apparat 207.
Entdeckung des Radiums 21.
Entgasung 111.
Entladung durch H_2, O Dampf 48.
Entwicklungsanomalien 132.
Entzündung 121, 195, 261, 306.
Enzymreaktionen 116.
Eosin 265.
Eosinophile Zellen 209, 235.
Epithelialkrebse 259.
Epitheliome 273, 274, 278, 312.
Erdalkalien 29, 30.
Erdboden-Radiumgehalt 29, 30, 37.
Erde, seltene 31, 38.
Erdspalten 173.
Erythem 264, 265.
Erythrodermia 304 ff.
Erythrozyten 23, 178, 192, 227, 228, 231.
Erzgänge 31.
Erzgebirge 31, 34.
Euxenit 38.
Exponentialgesetz 42.
Exsudate 22, 18, 210, 223.

Familien der Radioelemente 64.
Fango 253.
Fäulnisbakterien 126.
Fäzes 222.
Fermente 23, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 121, 124, 129, 163, 168, 218, 259.
Fermente autolytische 114, 115, 117, 127, 129, 187.
Fernapplikation 138.
Fett 126.
Fettsucht 23, 187, 220.
Feu croise (s. sub Kreuzfeuer) 270, 292, 295, 305, 308.
Fibroma uteri 25.
Filterverfahren 269.
Filtration der Strahlen 86, 100, 140, 237, 279, 283.
Fluorescenz 20, 67, 69, 89, 92, 311.
Fluorescenz der Augenmedien 311.
Fluoroskopisch 92.
Folliculitis 308.
Fontaktometer 100, 103, 110, 111.
Fontaktoskop 100, 107, 109, 158, 288.
Fötus 234.
Fraktionierte Fällung 61.
Fraktionisierte Kristallisation 21, 31, 35, 38, 46, 57.
Franzensbad 243.
Froschherz 192.
Frühlingskatarrh 314.
Frühstadium 212, 289.

Frühzeitige Behandlung 212, 289.
Furunkulose 24.

Gadolinit 38.
Galvanometrische Messung 97.
Gamma-Strahlen 84, 88, 91.
Gärungsprozesse 116.
Gastein 123, 242.
Gastralgie 236.
Gaswechsel 190, 255.
Gebärmuttererkrankungen 291 ff.
Gefäßneubildung 24, 259, 281, 285, 305.
Gefäßtumoren 24, 259, 281, 285, 305.
Gehirnveränderung 135.
Gelatine und Radium 119.
Gelenkrheumatismus, akuter 22, 146, 177, 199, 201.
Gelenkrheumatismus, chronischer 22, 199, 200, 201, 203. (s. auch sub Rheumatismus).
Geologische Verhältnisse 32.
Geppert-Zuntzsche Apparate 190.
Geschwulstzellen 276.
Geschwüre 307.
Gesellschafts-Inhalation 151, 153, 160, 249.
Gewebsreaktionen 260.
Gewebe, tierische 262.
Gewichtsabnahme 125 ff.
Gewinnung radiak. Substanzen 30, 31, 35.
Gicht 22, 145, 146, 186, 197, 200, 201, 212.
Gichtbäder 32, 33, 106, 123, 142, 172, 243, 246.
Glas, Veränderung d. Radium 90.
Gleichgewichtszustand 77, 80, 105, 108.
Glimmerfilter 127, 131, 309.
Glühstrmpfindustrie 38.
Glycerinphosphorsäure 121.
Gonorrhoe 208.
Gradierprozeß 34.
Grenzwert 59.
Grundstoffe 30, 31 ff.
Grundwasser 33
Gynaekologische Therapie 25, 259, 291.

Haarausfall 136, 304.
Halbwertszeit 43, 45, 51, 53, 56, 58, 61, 62, 63, 145, 155, 179, 185.
Halogene und Radium 47.
Hämatopoetisches System 140, 210, 227.
Hämoglobin 229, 231.
Hämolytische Wirkung 130.
Hämophilie 192.
Haemoptoe 224.
Hämorrhagien 234.
Harnausscheidung 158, 219, 229.
Harnsäure 155, 168, 186, 197, 198, 213, 216.
Hautaufnahme 169, 175.
Hautausscheidung 158, 161.
Hautbestrahlung 162, 263.
Hautepitheliome 24.
Hautkrankheiten 24, 259.
Hautreaktion 260, 261, 263.
Hauttuberkulose 205.
Hefegärung 116.
Heilerfolge im Tierkörper 124 ff.
Heilquellen 32, 33, 106, 123, 142, 172, 243, 246.
Helium 18, 31, 67, 76, 78.
Henry'sches Gesetz 153.
Herpes Zoster 237, 307.
Herstellung von Thorium 39.
Herz 221, 231.
Herzschlagfrequenz 231.
Hirnrinde 137.
Histologie 261, 270.
Hochgebirge 32.
Höchstatomige Elemente 18.
Hoffasche Polyarthritis chron. progressiva 201.
Hornhaut 314.
Hühnereibestrahlung 129.
Humusboden 39.
Hyperglobulie 288.
Hyperleukozytose 191, 199, 219, 223, 227.

Ichthyosis 308.
Idiosynkrasie 165, 268.
Immunisation 33, 264.
Impotenz 225.
Indikation 212, 216, 240.
Individualisierung 146.
Induration 284.
Induzierte Aktivität 80, 176, 195.
Infektion 121, 314.
Infiltration 305.
Inhalation 23, 157.
Inhalations-Apparate 150, 151.
Inhalation der Emanation 149, 159, 206, 218, 221.
Inhalationsraum 151, 153, 160, 249.
Inhalationsmethode 154.
Inhalationsversuche 167.

Injektionsverfahren 176, 208, 214, 228, 231.
Inkubationsstadium 147.
Inoperabilität 25, 270.
Instrumente 269, 283.
Interkostalneuralgie 22, 202, 237.
Interne Medizin 178.
Intraarteriell 178.
Intramusculär 204, 211.
Intratumorale Applikation 182, 270, 287, 288.
Intravenöse Injektion 124, 155, 177, 182, 211, 229, 286.
Intrauterine Bestrahlung 300.
Joachimsthal 32, 172, 243.
Jodmenthol, radioaktives 224.
Jonisationsraum 101.
Jonisierung 67, 69, 72, 73, 74, 83, 86, 88, 89, 93, 95, 96, 97, 98, 101, 194, 254.
Jonium 18, 46.
Jonometer 101.
Jontophorese 175.
Iritis 315.
Ischias 22, 202, 237, 238.

Kachexie 234, 239.
Kalorien 105, 220.
Kalorimetrisch 105.
Kankroid 24, 274.
Karboradiogenol 270, 280, 292.
Karlsbad 243.
Karzinom 116, 117, 127, 272, 275, 280, 284, 298.
Kataphorese 125, 147, 158, 175, 270.
Katodenstrahlen 20, 69, 70, 79.
Keil'sche Inhalationstabletten 206.
Keimzellen 130, 132, 134.
Keloide 24, 259, 282, 307.
Keratitis 315.
Keratoma senile 308.
Kernteilungsfiguren 134.
Kernsubstanzschädigung 129, 134.
Kieselsäure-Pulver, aktiviertes 286.
Kissingen 123.
Klimatische Verhältnisse 150, 257.
Knallgas 47.
Knochen und Knorpel 228.
Knochenmark 235.
Kochsalzlösung 204, 265, 288.
Kohlehydrate 126, 216.
Kohlensäurezersetzung 49.
Kolibazillen 118, 123.
Kombinierte Therapie, Kuren 175, 203, 232, 289, 290.
Komponente 113.
Kompressen 175, 176, 181, 182, 200, 201, 202, 224.
Kondensator 94, 100, 101 ff.
Kongestionen 25.
Kongreß, radiologischer in Brüssel 106, 148.
Konjunktivitis 310.
Kontaktstrahlenwirkung 94.
Kontraindikationen 146, 199, 216, 221, 234, 295.
Körpergewicht 230.
Korrektionsfaktor 109.
Kosmetische Veränderungen 269, 303, 304.
Kreuzfeuerverfahren 270, 292, 295, 305, 308.
Kreuznach 34, 153, 173, 302.
Kreuznach, Radioltuben 177.
Krisen, gastrische 307.
Kritische Geschwindigkeit 72, 73, 74.
Krypton 18.
Kumulation 182.
Kurorte 241.
Kurorte, radioaktive (Tabelle) 244, 245.

Labferment 114, 115.
Laboratorium 110.
Lagerstätten der Radioelemente 32.
Laktimurat 155, 188.
Lancinierende Schmerzen 22, 204, 209, 239.
Landeck 243.
Larven 131.
Latenzperiode 273.
Lebensdauer, mittlere 35, 45, 55, 77, 105.
Lebensdauer radioaktiver Elemente 35, 37, 41, 77, 111.
Lecithin 126, 128, 265.
Leitfähigkeit 94.
Leprom 308.
Leuchtbakterien 124.
Leuchterscheinungen 47, 89.
Leukämie 23, 116, 227, 228.
Leukopenie 191, 227, 287.
Leukoplakie 225, 308.
Leukozyten 23, 121, 178, 211, 217, 227, 228.
Leukozytose 227.
Lichen 307.
Lipoide 127.
Lipolyse 217.
Lippenkrebs 284.

Löslichkeit der Emanation 51, 52, 111.
Löslichkeit der Radiumsalze 47, 177.
Löslichkeitskoeffizient 248.
Lues 307.
Luftbad, radioelektrisches 173, 174.
Luft, Emanationsgehalt 33, 107, 174, 241, 253.
Luftkurorte 150, 241.
Luminiscenzerscheinungen 89, 90.
Lungenaufnahme der Ehanation 168.
Lungenentzündung 23, 116, 193, 223.
Lungentuberkulose 127.
Lupus 24, 124, 303, 305.
„ erythematodes 306.
„ vulvae 25, 301.
Lutein 130.
Lymphatisches Gewebe 140.
Lymphdrüsen 140, 238, 287.
Lymphgefäße 163.
Lymphosarkom 24, 275, 285.

Macheeinheit 94, 95, 106, 110, 147, 153, 159, 165, 170, 214.
Mageninstrumente 280.
Magenkrebs 280.
Magensaft 116.
Magnetfeld 68, 70, 79, 80, 84, 86.
Malum coxae senile 203.
Mammakarzinom 272.
Manometer 111.
Maßeinheiten 105, 164.
Mastdarmkrebs 284.
Materielles Substrat 86.
Mattpapier 304.
Mäusebestrahlung 138 ff.
Meer-Radiumgehalt 28.
„ Thoriumgehalt 37.
Meerschweinchen - Versuche 124, 224.
Melanosarkom 24, 274, 275.
Menopause 296, 301.
Menstruation 296.
Mesothorium 18, 21, 38, 55, 117, 140, 176, 178, 283, 296, 299.
Mesothorium und Fermente 117.
Meßapparate 97, 98, 99.
Meßfehler 109.
Meßgefäße 106, 112.
Meßkanne 101, 107, 108, 109.
Messung von Aktiniumemanation 51, 101, 106, 111, 112, 153.
Messung mittels Gammastrahlen 103, 111.
Messung von Thoriumemanation 51, 101, 106, 111, 112, 153.
Messung mittels Wärmeentwicklung 93, 105.
Messungsmethoden, quantitative 92, 93, 94, 95, 164.
Messungsmethoden, qualitative 92, 93, 94, 95.
Metallfilter 80, 83, 84, 86, 301, 304.
Metallisches Radium 21, 28, 36, 46.
Metallschirm 80, 83, 84, 86.
Metamorphose der Elemente 17, 42.
Metastasen 270, 287.
Meteorologische Einflüsse 174.
Methämoglobin 130.
Methodik der Behandlung 260, 264.
Metritis 25, 301.
Migräne 237, 240.
Mikrobiologie 124.
Mikrokurie 106, 148.
Mikroskopular 98.
Milligramminute 106, 148.
Milligrammsekunde 106, 148.
Millikurie 106, 148.
Milzbrand 118, 120.
Mineralien, radioaktive 28, 29, 30.
Mineralien, Veränderung durch Radium 18, 87.
Mineralquellen 241.
Mißbildung 130, 131, 132, 133.
Mittelgebirge 256.
Molekulare Eigenschaften 19.
Molekulare Umlagerungen 18.
Monarthritis 201.
Monazit 38, 56.
Mononatriumurat 155, 187.
Morbus Basedowii 234.
Multiple Sklerose 238.
Murexidreaktion 189.
Muskelrheumatismus 201.
Mutterlauge (Kreuznach) 202.
Muttersubstanz 19, 27, 56, 60, 77.
Myalgie 22, 197, 202, 209, 214.
Myome 25, 295.

Nachwirkung 147, 160.
Naevus 281, 305.
Nährboden 119.
Narben 279, 296, 308, 315.
Nekrose 121, 136, 230, 272, 284.
Neon 18.
Nephritis 221.
Nervensystem 236.
Neubildung 175, 272, 274.

Neulengbach 35.
Neuralgie 22, 197, 203, 214, 236, 238, 240.
Neurasthenie 238.
Neuritis diabetica 239.
Neurose 307.
Niederschlag, aktiver des Radiums 155, 156, 163, 169, 172, 173, 174, 185, 251.
Normalabfall 107, 108, 109.
Normallösungen 192, 193.
Normalverlust 107.
Narbenkeloide 24, 259, 282, 307.

Oberfläche und induzierte Aktivität 175.
Oberflächenstrahlung 291 ff.
Oberkieferhöhlen 222.
Obstipation 23, 222.
Oedeme 231.
Oesophagusinstrumente 280.
Oesophagusstrikturen 280.
Oligarthritis deformans 201.
Operierbar gewordene Neoplasmen 289, 295.
Ophthalmologie 310.
Orangit 38.
Ordinate 167.
Organanlage und Bestrahlung 295.
Organische Körper und radioakt. Elemente 48.
Organotherapie 210.
Orte, radioaktive 149.
Oxyhämoglobin 130.
Ozon 130.
Ozonentwicklung 123.

Packungen 175, 176, 181, 182, 200, 201, 202, 224.
Palliativmittel 296.
Papierfilter 304.
Paralyse 135.
Pechblende 30, 33, 53, 85, 206.
Pecherz 18, 206.
Pepsinferment 114, 115, 117.
Pericarditis 221.
Periodisches System 17, 18, 19, 47.
Perkutante Aufnahme der Emanation 171.
Pflanzen und Radioelemente 49.
Pflanzen-Zelle 130, 259.
Pfortader 163.
Pharmakodynamisches Grundgesetz 122.
Pharynxtumoren 275.
Phlegmone 202.
Phosphorescenz 20, 28, 47.
Photographische Platte 20, 28, 48, 67, 68, 69, 72, 75, 79, 82, 86, 90, 92, 138.
Photographische Wirkungen 20.
Photosphäre der Sonne 36.
Physikalische Eigenschaften 36.
Physikalisch-chemische Wirkungen 164.
Physiologische Schutzkraft 124.
Physiologische Vorgänge 124 ff.
Pigmentierung 262, 304.
Pigmentgeschwülste 24, 274, 275.
Pilze und Becquerelstrahlen 114.
Pneumonie 23, 116, 193, 223.
Polonium 18, 21, 31, 53, 70,
Polyarthritis exsudt. 201, 202.
Polycras 38.
Polyneuralgie 209.
Polyneuritis 240.
Porphyr 34.
Potentialkraft 96.
Präparate, radioaktive 164, 216.
Primärerze des Thoriums und Urans 18, 206.
Primärstrahlen 84, 87.
Prodigiosus 123.
Proliferationsprozesse 266.
Proteolytische 23, 187, 217.
Proteolytische Fermente 116, 222.
Pruritus 25, 301, 307.
Psoriasis 24, 225, 303.
Pulsdruckamplitude 139.
Purinstoffwechsel 187, 188, 197.
Pyloruskarzinom 280.
Pyorrhoea 225.
Pyrochlor 38.

Quadrantelektrometer 95.
Quarzfadenelektrometer 97.
Quecksilber 36.
Quellen 33, 106.
Quellenaktivität 108, 172.
Quellen-Gase 108, 111, 149, 205, 241.
Quelleninhalatorium 32, 172, 243.
Quellgas-Tabelle 248.
Quellauf 108.
Quellen, mineralische 241.
Quellensedimente 108, 111.
Quellort 108, 111.
Quellsinter 34, 57.
Quellursprung 109.
Quellwasser 108, 109, 111.

Radikaloperation und Strahlenwirkung 302.
Radioaktinium 61.

Radioaktive Bäder 157.
Radioaktive Elemente 18.
Radioaktive Energie 37.
Radioaktive Substanzen 27.
Radioaktive Wässer 34.
Radioaktivisierung der Gewebe 136, 138.
Radioaktivität 21.
Radioaktivität der Erze 30.
Radioaktivität der Grubenluft 108, 111, 149, 205, 241.
Radioaktivität, Messung (s. sub Messung) 80, 94, 95, 99, 100, 101, 107, 109, 158.
Radioaktivität der Quellen 108 ff.
Radiobaryt 34.
Radioben 119.
Radioblei 27, 31, 53.
Radioelemente 19, 21, 22.
Radiofirn 176, 212.
Radiogen 116, 123, 204, 214, 223.
Radiogenoltuben 177.
Radiographisch 92.
Radiol 176, 275.
Radiologischer Kongreß in Brüssel 106, 148.
Radiothorium 18, 21, 38, 57, 139, 178, 181.
Radiothorkompressen 176, 181.
Radiotellur 53.
Radiouran 45.
Radium 18, 46.
Radium A, B, C, 50, 52.
„ D 27, 50, 52.
„ E 50.
„ F 21, 50.
„ G 50.
Radium-Aktivität 47.
Radio-Ampullen 269, 276, 291.
Radium-Aequivalent 106.
Radium-Bad 32, 34, 153, 172, 207, 208, 243, 244.
Radiumbestimmung durch die Emanation 76, 78, 81, 94, 95, 106, 123, 148, 228.
Radium-Bromid 47, 48, 56, 106, 123, 127, 138, 165, 276, 294, 304, 312.
Radium in der Chirurgie 280.
Radium und Chlorophyll 49.
Radium und Dermatitis 307, 308.
Radium-Emanation (s. sub Emanation) 18, 49, 50, 117, 123, 138, 145.
Radium-Familie 42, 78.
Radium-Fabriken 35.
Radium und Farbstoffe 48.
Radium und Fermente 113, 114, 115, 116, 280.
Radium-Firnis 269.
Radium-Geschwür 129, 133, 267.
Radium-Halbwertzeit 46.
Radium-Herstellung 30.
Radium-Industrie 35, 146.
Radium-Kapsel 269, 276, 291.
Radium-Kompresse 270.
Radium-Krankheit 132, 134.
Radium-Kuranstalten 32, 34, 153, 172, 243.
Radium-Kurorte 32, 34, 153, 172, 241, 243.
Radium-Lackplatten 269.
Radium-Leinwand 270, 315.
Radiumlint 306.
Radium-Mischung 175, 203, 232, 289, 290.
Radium-Nekrose 129, 133, 267.
Radium-Präparate 164, 216.
Radium-Pulver 270.
Radium in Quellen 244, 245.
Radium-Röhrchen 269, 291.
Radium-Salbe 270.
Radium-Salze 47, 48, 111, 124, 177, 192, 214.
Radium + Sauerstoff - Inhalations-System 168.
Radium-Schädigung 129, 133, 267.
Radium-Spektrum 47.
Radium-Standard 103, 148.
Radium-Therapie 49, 141.
Radium-Träger 280.
Rauminhalation 151, 153, 160, 249.
Reaktion 195, 196, 200, 201, 203, 204, 205, 209, 240, 277.
Regenbogenhaut 311.
Regeneration 132.
Reichweite der Strahlen 70.
Reizwirkung 262.
Rektumkarzinom 275.
Resorption 121, 157, 217.
Respirationsorgane 222.
Rezidive 277, 278, 280, 286, 296, 297.
Rheumatismus (s. auch sub Gelenkrheumatismus) 145, 197, 201, 212.
Rheumatismus im Kindesalter 210.
Rhinitis 222.
Rhinophym 308.
Ringerlösung 192, 193.
Röntgenstrahlen 21, 297, 299, 301.

Salicyltherapie 199.
Salpingitis 295.

Samarskit 38.
Samenfäden 129, 133.
Sarkom 24, 116, 117, 175, 259, 277, 285, 312.
Sättigungsstrom 79, 93, 94.
Sauerstoffgehalt 153.
Sauerstoffstrom 151, 249.
Schädigung 129, 133, 267.
Scharlach 208.
Schlaflosigkeit 146, 196, 238.
Schlamm 307.
Schmerzlinderung 175, 176, 200, 202, 204, 207, 210, 212, 236, 287, 307, 311.
Schweiß 172.
Schwund der Krebszellen 116, 117, 127, 272, 275, 280, 284, 298.
Seborrhoea 308.
Sedative Wirkung 196.
Sekundärerze des Urans 44.
Sekundärstrahlen 78, 84, 86, 87, 304.
Selbststerilisierung 121.
Sensibilisierung 264.
Sensibilitätsnerosen 307.
Serum 121.
Silbersalze und Radium 48.
Sklerose, multiple 238.
Skotographische Wirkung 90, 91.
Sonne 36, 118, 314.
Sonnenspektrum 36.
Spannung 99.
Spannungsabfall 148.
Spätstadium 294 ff.
Spätwirkung 304.
Spektrum 19, 47, 90, 93.
Spinthariskop 71, 93.
Staatsministerium Gotha 150, 257.
Standardpräparat 103, 148.
Staphylokokkus 119, 120, 123.
Sterilisation d. radioaktiven Lösungen 177.
Sterilisierung durch Radium 119, 121.
Sterilität 296.
Stimulation 225, 233.
Stirnhöhlen 222.
Stoffwechselstörungen 22, 137, 187, 218.
Stoffwecheslversuche 137, 218.
Stomatitis 225.
Stoppuhr 101, 103.
Strahlen (s. sub Sekundärstrahlen) 78, 84, 86, 87, 304.
Strahlen, Alpha- 67, 70, 72, 87.
Strahlen, Beta- 80, 81, 82, 83, 84, 87.
Strahlen, Gamma- 84, 88, 91.
Strahlen-Absorption 70, 72, 73, 79, 80, 82, 84, 85, 87, 101.
Strahlenbündel 79.
Strahlengattung 75, 95, 100, 113, 140.
Strahlen-Geschwindigkeit 86, 88.
Strahlenmessung (s. auch sub Messung u. Strahlen) 86, 92, 93, 94, 95, 164.
Strahlensubstanz 88.
Strahlenteilchen 88, 92.
Strahlentherapie 26, 299.
Strahlenwirkung 20, 113, 122, 169.
Strahlenwirkung und Pepsin 11, 115, 117.
Strahlenwirkung und Pflanzenwachstum 49, 130, 259.
Strahlenwirkung und Trypsin 114, 115, 117.
Strahlungsquelle 86.
Studium der radioaktiven Elemente 41.
Stuhl 222.
Subkutan 177 ff., 229.
Sycosis vulgaris 307.
Synthese 48.
Syringomyelie 237.
Szintillation 71, 72, 89.

Tabes 22, 203, 237, 239, 307.
Technik 237.
Teleangiektasien 269, 279, 303.
Temperatur 191, 215, 223.
Teplitz 153, 204.
Therapie 117.
Thermal-Bäder 204, 242.
Thermal-Wasser 123.
Thorianit 38.
Thorium 18, 37, 38, 54.
Thoriumchlorid 271.
Thorium-Emanation 18, 55, 58, 115, 116, 117, 179, 181.
Thorium-Familie (Tabelle) 65.
Thoriumgewinnung 39.
Thorium-Inhalation 179.
Thorium-Niederschlag 181.
Thorium-Nitrat 55.
Thoriumoxyd 54.
Thorium-Therapie 179, 210.
Thorium-Zerfallprozeß 179, 180.
Thorium-X 18, 38, 58, 117, 139, 145, 178, 179, 210, 228, 283, 285.
Thorium-X-Bäder 181.
Thorium-X-Injektionen 182.
Thorium-X-Kataphorese 182.

Thorium-X-Messung 51, 93, 94, 95, 101, 106, 111, 112, 153, 164.
Thorium-X-Packungen 181.
Thorium-X-Trinkkur 180.
Thorium-X-Schädigung 184.
Thorium-X-Vergiftung 183.
Thorogummit 30.
Thoroxyd 38.
Thüringer Wald 150, 257.
Tiefenbestrahlung 272, 284, 295, 299.
Tierexperimente 124, 133, 135, 217, 227, 229, 271.
Tierische Zelle 124, 132, 135, 229, 259, 263.
Titrimetrische Bestimmung 44.
Tochtersubstanz 77.
Tollwutgift 122, 124.
Toxine 118.
Trachom 25, 311.
Transformation der Elemente 19, 27.
Trimethylamin 126.
Trinkkur 23, 155, 159, 160, 162, 164, 213, 218, 225, 246.
Trinkportion 167.
Trockenemanatorien 208.
Trypsin 114, 115, 117.
Tuberkelbazillen 224.
Tuberkulose 23, 223.
Tumoren 227, 228, 270, 271, 285, 288.
Typhusbazillen 118, 119, 120, 121, 124.

Ulcus cruris 308.
Ultraviolette Strahlen 44.
Ulzerationen 25, 121, 136, 281, 284.
Umschläge 175, 176, 181, 182, 200, 201, 202, 224.
Umwandlung der Elemente 17, 41, 42.
Unterschenkelgeschwüre 308.
Uran I 18.
Uran-X 45.
Uran-Alphastrahlen 44.
Uranstrahlen 45.
Uranerz 32.
Uranfarben 44.
Urangewinnung 43.
Uranglimmer 18.
Uraninit 35, 44.
Uranophan 30.
Uranoxyd 44, 102.
Uranpechblende 293.
Uranpecherzrückstände 206.
Uransalze 20.
Uran-X-Gewinnung 45.
Uranylnitrat 44.
Urethritis 25.
Urin 157, 158, 170, 177, 219.
Urzeugung und Radium 33, 34.
Uskoffsche Apparate 193.
Uterusfibrome 295.
Uteruskrebs 25, 285, 292.

Valenz 43.
Vene 163.
Verbreitung 28.
Verdauungsprozeß 116.
Verdauungstraktus 160.
Vergiftungserscheinungen 165.
Vernarbung 25.
Verschlimmerung 276.
Verwandlung chemischer Grundstoffe 17, 41, 42.
Verwandtschaft der Radioelemente 42.
Voltabfall 148, 167, 288.
Vulkanische Gesteine 29.

Wachstum und Radioaktivität 118, 123.
Waldluft 256.
Wärmeeinheit 105.
Wärmegleichgewicht 37.
Wärmeproduktion des Radiums 28, 36, 47.
Warze 305.
Wassersynthese 48.
Wasserzersetzung durch Radioelemente 48.
Wetterfühlen 209.
Wettinquelle 34.
Wiesbaden 246.
Wirkung auf die einzelnen Organe 168, 221, 231.
Wirkung des Radiums auf Silbersalze 48.
Wismut, radioaktives 31, 270.
Wulf, Elektrometer 97.
Wulffsche Flasche 152.
Wildbäder 132, 242.
Wundinfektion und Radium 124.

Xenon 18.
X-Strahlen 20.

Zahnheilkunde 25, 225.
Zambonisäule 109.

Wellcome Library

Zellgewebe 125.
Zentralnervensystem 236.
Zerfallskonstante 19, 42, 68.
Zerfallsperiode 43, 45, 51, 53, 56, 57, 59, 61, 63, 179.
Zerfallsprodukte 19, 36, 41, 52, 54, 61, 68, 77, 104, 107, 117, 152, 156, 163, 173, 222.
Zerfallstheorie 41.
Zerstörende Wirkung des Radiums 25, 121, 136, 281, 284.
Zirkulation 121.
Zirkulationsmethode von Elster u. Geitel 112.
Zuckeroxydation 190.
Zungenkrebs 284.

WELLCOME LIBRARY INSTITUTE